



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**DISEÑO DE UNA MATRIZ MULTICRITERIO PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DE TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS EN LA
REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON
HIDROCARBUROS EN MÉXICO**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

PRESENTA

JUANA MARTÍNEZ MACEDO



MÉXICO, D.F. 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México

Biblioteca Central

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: Dr. Víctor Manuel Luna Pabello

VOCAL: M. en I. María Rafaela Gutiérrez Lara

SECRETARIO: Dr. José Agustín García Reynoso

1ER. SUPLENTE: Dra. Gema Luz Andraca Ayala

2° SUPLENTE: M. en I. Sergio Adrián García González

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

TORRE DE INGENIERÍA, 6° PISO

ASESOR DEL TEMA:

Dr. Víctor Manuel Luna Pabello

SUSTENTANTE:

Juana Martínez Macedo

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	4
1. INTRODUCCIÓN	5
1.1 Planteamiento del problema.....	5
1.2 Objetivo:	5
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1 El suelo	6
2.1.1 Propiedades del suelo	8
2.2 Fuentes de contaminación del suelo	15
2.2.1 Características de los contaminantes	21
2.3 Marco jurídico y normatividad en materia de contaminación de suelos ...	25
2.3.1 Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)	25
2.3.2 Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR)	28
2.3.3 Ley Federal de Responsabilidad Ambiental (LFRA)	31
2.3.4 Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y Normas Mexicanas (NMX)	32
2.4 Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos	34
2.4.1 Tratamientos fisicoquímicos	36
2.4.2 Tratamientos térmicos	39
2.4.3 Tratamientos biológicos.....	42
2.5 Selección de las tecnologías de remediación de suelos	53
2.6 Análisis multicriterio.....	55
2.6.1 Modelos y metodologías del análisis multicriterio	58
2.6.2 Método matricial	60
3. PROPUESTA DE LA MATRIZ MULTICRITERIO PARA LA SELECCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS.....	61
3.1 Obtención de datos	61
3.2 Metodología de elaboración	65
3.3 Matriz multicriterio para la selección de tratamientos biológicos	76
3.3.1 Ejemplo de evaluación utilizando la matriz multicriterio propuesta	77
3.3.2 Análisis de resultados.....	81
4. CONCLUSIONES	82

REFERENCIAS.....	83
Anexo I. Tipos de suelo en México.....	91
Anexo II. Hojas de seguridad	98
Anexo III. Entrevistas a expertos en remediación de suelos	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Características de los petróleos crudos mexicanos	24
Tabla 2.- Características de los productos destilados	24
Tabla 3.- Hidrocarburos que deberán analizarse en función del producto contaminante.....	33
Tabla 4.- Contaminante en cada fracción del petróleo	34
Tabla 5. Límites máximos permisibles para fracciones de hidrocarburos en suelo	34
Tabla 6.- Cuadro comparativo de las ventajas y desventajas entre tecnologías <i>in situ</i> y <i>ex situ</i>	36
Tabla 7.- Costos de la incineración	40
Tabla 8.- Costos de la desorción térmica	41
Tabla 9.- Costos de los tratamiento térmicos <i>in-situ</i>	41
Tabla 10.- Requerimientos y factores para la biorremediación	45
Tabla 11.- Costos del composteo.....	47
Tabla 12.- Artículos científicos utilizados como referencia.....	62
Tabla 13.- Matriz Tecnología – Tipo de suelo	68
Tabla 14.- Matriz Tecnología - Contaminante	68
Tabla 15.- Matriz Tipo de suelo – Contaminante (Área).....	69
Tabla 16.- Matriz Tipo de suelo – Contaminante (Profundidad)	69
Tabla 17.- Significado de los valores.....	70
Tabla 18.- Escala de ponderación para la concentración inicial.....	71
Tabla 19.- Escala de ponderación para la edad del contaminante, estructura química, viscosidad, solubilidad, densidad y volatilidad	71
Tabla 20.- Escala de ponderación para la textura del suelo.....	71
Tabla 21.- Escala de ponderación para el pH	72
Tabla 22.- Escala de ponderación para los usos futuros del suelo	72
Tabla 23.- Escala de ponderación para la temperatura.....	72
Tabla 24.- Escala de ponderación para la humedad	73

Tabla 25.- Escala de ponderación para la extensión y volumen contaminado de suelo.....	73
Tabla 26.- Escala de ponderación para los costos directos, de operación y mantenimiento.....	73
Tabla 27.- Escala de ponderación para el tiempo de remediación.....	74
Tabla 28.- Escala de ponderación para la disposición de residuos generados	74
Tabla 29.- Escala de ponderación para los casos de éxito	74
Tabla 30.- Resultado de la evaluación, en un tipo de suelo con mayor porcentaje de arcilla.....	78
Tabla 31.- Resultado de la evaluación, en un tipo de suelo con mayor porcentaje de limo.....	79
Tabla 32.- Resultado de la evaluación, en un tipo de suelo con mayor porcentaje de arena	80
Tabla 33.- Clasificación general del suelo con base en su funcionalidad o alguna característica determinante	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Perfil general de un suelo	7
Figura 2.- Esquema del tamaño de las partículas que componen el suelo.	10
Figura 3.- Tamaño y contenido en arena, limo y arcilla en cada uno de los diferentes tipos de suelo	10
Figura 4.- Climas en México.....	14
Figura 5. Emergencias ambientales registradas en el año 2012 en México	16
Figura 6.- Infraestructura Industrial de PEMEX.....	19
Figura 7. Terminales de Almacenamiento y Reparto en el país.....	20
Figura 8.- Resumen de las tecnologías para remediar suelos contaminados	35
Figura 9.- Actores y factores involucrados en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos	56
Figura 10.- Criterios considerados	66
Figura 11.- Tipos de suelo en México	97

RESUMEN

Son muchos los factores por los cuales en México se contamina el suelo con hidrocarburos, sin embargo podría agruparse en derrames propiciados y de tipo accidental. Debido a aspectos de legislación y responsabilidad ambiental es necesario que se remedie el daño ocasionado. Para lograrlo, actualmente se utilizan tratamientos fisicoquímicos, térmicos y/o biológicos dependiendo entre otras cosas, de la concentración inicial del contaminante y la concentración final a la que se desee llegar.

En el presente trabajo se abordan los tratamientos de tipo biológicos, debido a que permiten la limpieza de los suelos a niveles superiores que los obtenidos mediante el empleo de tratamientos fisicoquímicos, sin que ello implique la pérdida del recurso suelo, como ocurre con los tratamientos térmicos. En términos generales, los tratamientos biológicos son recurrentemente empleados cuando se pretende cumplir con la normatividad ambiental del país en materia de suelos. Aunado a lo anterior, representan un costo y manejo de subproductos aceptable, respecto de las alternativas térmicas o fisicoquímicas. Los tratamientos biológicos utilizan macro y microorganismos que pueden estar presentes en el sitio contaminado, o bien, ser introducidos. Dichos seres vivos, pueden degradar los hidrocarburos convirtiéndolos en productos inocuos o de menor toxicidad que los originales, asimismo presentan ventajas en términos de costos y eficiencia, por lo que en el presente trabajo se propone una matriz multicriterio para seleccionar alguna de estas tecnologías de tipo biológico, para remediar un determinado sitio contaminado. Para establecer los criterios que se consideran en dicha matriz, se hizo una revisión y análisis de la bibliografía de los trabajos efectuados en el país, reportados en diversas revistas científicas en los últimos diez años, así como la consulta de personal experto en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos. Con base en el análisis de dichos textos se elaboró la metodología de selección de tecnologías que en el presente trabajo se propone.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

En México se contamina el suelo y cuerpos de agua con hidrocarburos, como consecuencia del derrame de éstos a causa de tomas clandestinas, falta de mantenimiento a maquinaria y equipo, accidentes, etc.

Es necesario remediar los daños ambientales que deriven del derrame de hidrocarburos, en este trabajo únicamente se abordará el tratamiento del suelo.

Para lograr lo anterior existen múltiples tratamientos de diferente naturaleza, seleccionar el más adecuado, dependerá de diversos factores, tales como las características y concentración del contaminante, tipo de suelo afectado, superficie contaminada, eficiencia de remoción de la tecnología, etc.

Se ha demostrado que los tratamientos físicos, químicos y térmicos, en la remoción de hidrocarburos del suelo, le quitan calidad a ciertas propiedades del suelo remediado (Trujillo, *et al*, 2012), por lo anterior los tratamientos biológicos se vislumbran como opciones factibles para remediar el suelo, ya que éstos se basan en el mecanismo natural que existe en éste.

En el presente trabajo se propone una matriz para facilitar la selección de los tratamientos biológicos, a partir de la recopilación de diversos datos sobre tratamientos que se han realizado en campo o laboratorio.

1.2 Objetivo:

Diseñar una matriz multicriterio para la selección del tratamiento biológico más adecuado para remediar suelos contaminados con hidrocarburos en México.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 El suelo

El suelo es el material no consolidado compuesto por minerales, materia orgánica, agua y aire; comprende la capa superior de la superficie terrestre, tiene longitud, ancho y profundidad, por lo que se presentan diferentes tipos de suelo y cada uno tiene propiedades que lo caracterizan (Towhid, 2013).

Es un cuerpo natural que se desarrolla en función de la interacción de los factores que lo forman en el tiempo, tales como el clima, material, relieve y actividad de los organismos (INEGI, 2008).

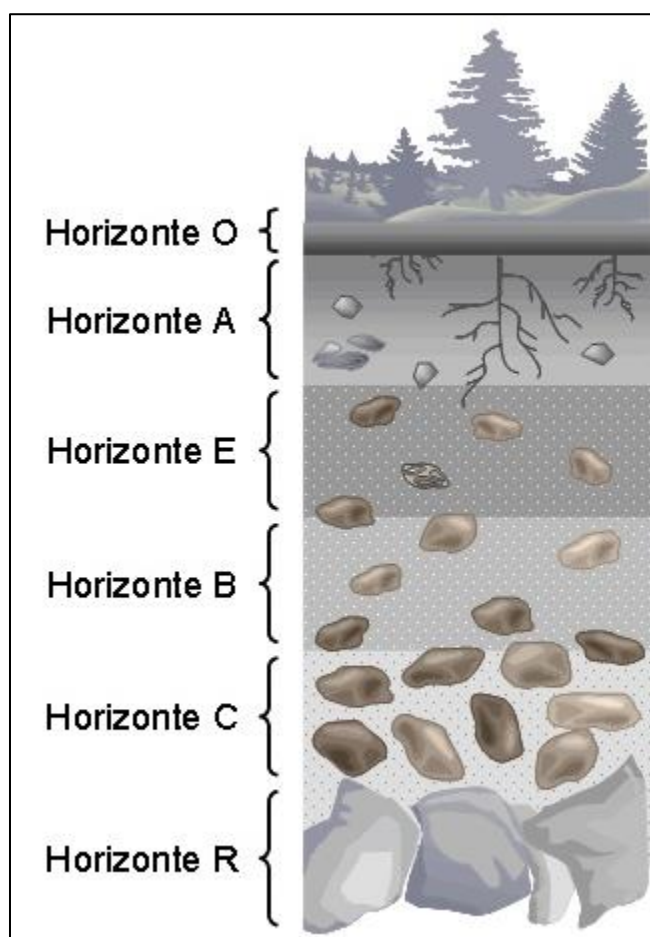
Es un recurso natural no renovable que desempeña las siguientes funciones (Saval, 1999):

- Regula el ciclo del agua y los ciclos biogeoquímicos
- Es el medio que filtra el agua para la recarga de los acuíferos
- Contiene una gran diversidad de organismos
- Es el espacio para efectuar actividades agrícolas, ganaderas, forestales y recreativas
- Es la base para la construcción de obras civiles
- Alberga riqueza cultural

Además el suelo permite el intercambio de nutrientes con los ecosistemas, manteniendo un equilibrio natural en ellos, si no contiene tóxicos el suelo es fértil (Towhid, 2013); por otro lado un suelo contaminado presenta uno o más

materiales peligrosos y residuos de cualquier tipo, los cuales pueden ser un riesgo para el ambiente y la salud de las personas (SEMARNAT; 2001).

El suelo está formado por horizontes (capas), las características que se presentan en ellos es el parámetro que se utiliza para clasificar los suelos en México (INEGI, 2004), el perfil del suelo se muestra en la Figura 1, posteriormente se describe cada horizonte.



Fuente: Tomada y adaptada de Volke, Velasco y De la Rosa, 2005

Figura 1.- Perfil general de un suelo

H: horizonte superficial orgánico, en el cual se acumulan los materiales orgánicos que caen en el suelo.

A: horizonte superficial mineral, en él la materia orgánica se encuentra asociada a la parte mineral, es de color oscuro o pálido.

B: horizonte subsuperficial mineral, puede presentar vestigios de la roca madre que origino el suelo, presenta color más intenso que los horizontes inferiores o superiores.

C: capa profunda, muestra las características de la roca madre que le dio origen al suelo.

R: capa más profunda, continua y muy dura, está por debajo del suelo.

La clasificación que se utiliza en México es la de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) y la Organización de las Naciones Unidas para la educación la Ciencia y la Cultura (UNESCO) del año 1968, la cual fue modificada por la Dirección de Estudios del Territorio Nacional (DETENAL) en 1970 (INEGI, 2004).

De acuerdo a los horizontes que se presenten, el suelo se clasifica en unidades y subunidades. En el Anexo I se describe cada tipo de suelo presente en el país.

2.1.1 Propiedades del suelo

Algunas propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas se encuentran en función de la granulometría (promedio de los diámetros de las partículas que componen la fase sólida), tales como estructura, color, porosidad aireación, permeabilidad, retención de agua, lavado y reserva de nutrientes, por lo que el análisis granulométrico es fundamental para conocer las propiedades de los suelos (Dorronsoro, 2009).

La fase sólida del suelo se compone por la fracción mineral y la orgánica. Para realizar el análisis de la fase mineral se requiere conocer la textura del suelo, la cual es el número de partículas en función de su tamaño.

- Textura

A partir del análisis granulométrico es posible distinguir el tipo de suelo, según su textura (Seoáñez, 1999). El tamaño de las partículas en milímetros es: <0.002 para las arcillas, $0.002 - 0.05$ el limo y $0.05 - 2$ la arena (Figura 2).

En la Figura 3 se muestra el tipo de suelo de acuerdo a su textura; en la Figura 2 se observa a continuación se describen las características del suelo, de acuerdo al mencionado parámetro (Dorronsoro, 2009):

Los suelos arenosos no reservan nutrientes, tienen mala estructuración, buena aireación, muy alta permeabilidad y nula retención de agua.

Los suelos arcillosos son muy ricos en nutrientes, adsorben iones y moléculas, retienen mucha agua, están bien estructurados, son impermeables y asfixiantes.

Los suelos limosos tienen nula estructuración, sin propiedades coloidales, son impermeables y con mala aireación.

Los suelos francos son los equilibrados con propiedades compensadas.

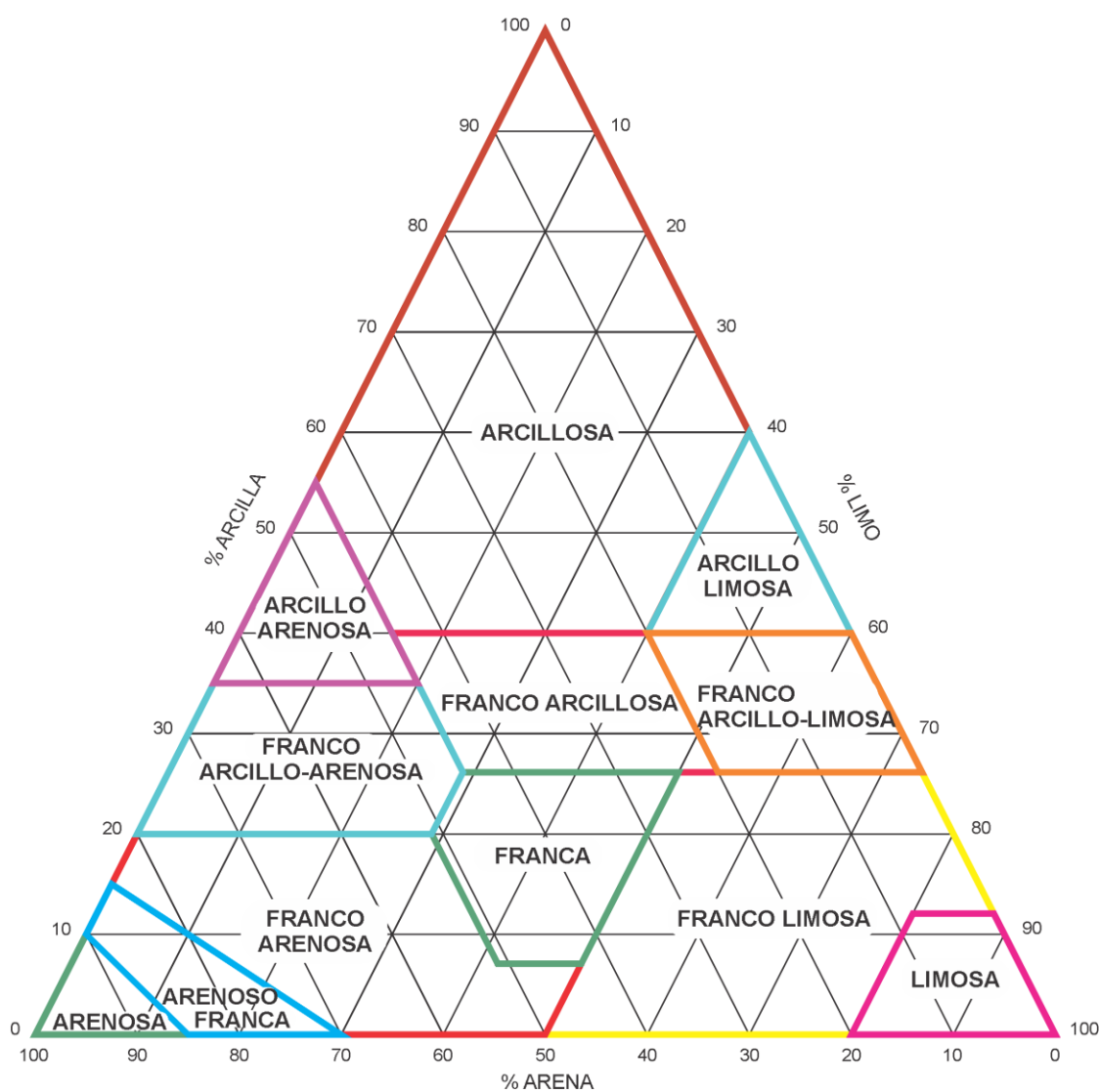
- Fracción orgánica

La fracción orgánica está constituida por humus (desechos de vegetales y animales degradados); en los suelos con alto contenido húmico disminuye la movilidad de los compuestos orgánicos (Volke y Velasco, 2002). Se consideran suelos orgánicos aquellos de textura gruesa que contenga 20 % o más de materia orgánica, así como los de textura fina cuyo contenido de materia orgánica sea mayor al 30 % (Aguilera y Martínez, 1996).



Fuente, FAO, 1999

Figura 2.- Esquema del tamaño de las partículas que componen el suelo.



Fuente: Elaborado con base en Dorronsoro, 2009

Figura 3.- Tamaño y contenido en arena, limo y arcilla en cada uno de los diferentes tipos de suelo

- Amortiguación de la contaminación

Es la capacidad que poseen los suelos para autodepurarse, por lo que actúan como barreras protectoras de sistemas biológicos e hidrológicos. Las arenas, como ya se mencionó, son muy inertes mientras que las arcillas tienen un alto poder de amortiguación, lo que puede fijar y transformar a los contaminantes, por lo que poseen una alta capacidad de autodepuración.

- Porosidad

Es el porcentaje total de huecos que hay entre el material sólido de un suelo. De este factor depende el comportamiento del suelo frente a las fases líquida y gaseosa, lo que se traduce en actividad biológica que puede soportar.

- Permeabilidad

Otra característica de los suelos es la permeabilidad la cual denota la facilidad con la que un líquido puede fluir en un medio permeable; en el caso de los suelos, mientras menor sea su permeabilidad disminuye la efectividad de la mayoría de las tecnologías (Volke y Velasco, 2002).

- Humedad

Es la cantidad de agua, presente en una muestra de suelo. Es un factor importante para la elección de una tecnología, ya que demasiada humedad dificulta el movimiento del aire en el suelo, lo que afecta los procesos de bioremediación, además afecta durante la excavación, transporte e incrementa los costos en el caso de las tecnologías de remediación térmicas (Volke y Velasco, 2002).

- pH

Es la característica que determina el grado de absorción de los iones por las partículas del suelo, lo que afecta la movilidad, solubilidad y disponibilidad de los contaminantes y otros elementos del suelo (Volke y Velasco, 2002).

- Densidad aparente

Es un parámetro relacionado con el peso específico de las partículas minerales y las orgánicas y la porosidad, por lo que puede variar de acuerdo a la estructura del suelo y el contenido de agua (Aguilera y Martínez, 1996). Refleja el contenido total de porosidad en un suelo y es importante para el manejo de los suelos, ya que refleja la compactación y facilidad de circulación de agua y aire (Dorronsoro, 2009).

- Densidad de partícula

Es la relación de la masa y el volumen, de las partículas sólidas que conforman el suelo (Dorronsoro, 2009).

- Color del suelo

Indica la cantidad y tipo de materia orgánica, así como la aireación (Aguilera y Martínez, 1996). Es una propiedad fácilmente observable y a partir de ella se pueden deducir aspectos importantes (Dorronsoro, 2009).

- Temperatura del suelo

La temperatura del suelo, depende de las radiaciones a la superficie, intervienen factores como la topografía y el clima (Dorronsoro, 2009).

La temperatura del suelo está directamente relacionada con la temperatura del aire atmosférico de las capas próximas al suelo. La distribución de la temperatura con la profundidad constituye el perfil térmico (Dorronsoro, 2009). La temperatura del suelo es función del clima del sitio, de acuerdo con el INEGI (2014) “el clima es el conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en un punto de la superficie de la tierra”.

En el caso de una región en específico el clima se encuentra regido por elementos como: temperatura, humedad, presión, vientos, precipitaciones, entre otros (los cuales se obtienen al recopilar la información meteorológica, durante 30 años o más); del mismo modo factores como la latitud, longitud, relieve, dirección de los vientos, también lo determinan (INEGI, 2014).

Además, de acuerdo con Volke, Velasco y De la Rosa (2005) el espesor y composición de los horizontes son función del tipo de suelo y las condiciones climatológicas.

En la Figura 4 se presenta el mapa de climas del país, en el cual se observa que México presenta una gran variedad.

- Usos futuros

Además, otro factor que se debe considerar en el proceso de remediación del suelo, es el uso que se le pretenda dar posteriormente, de ello dependerá el nivel de limpieza que deba aplicarse, para cumplir con los valores permitidos de hidrocarburos por la normatividad.



Fuente: Tomado y adaptado de CONAGUA, 2010

Figura 4.- Climas en México

2.2 Fuentes de contaminación del suelo

La contaminación del suelo en México es causada por contaminantes de diversa naturaleza (orgánicos e inorgánicos), los cuales son emitidos principalmente por la industria minera, química básica, petroquímica y refinación del petróleo, además de la disposición clandestina y derrames de residuos peligrosos (Volke y Velasco, 2002).

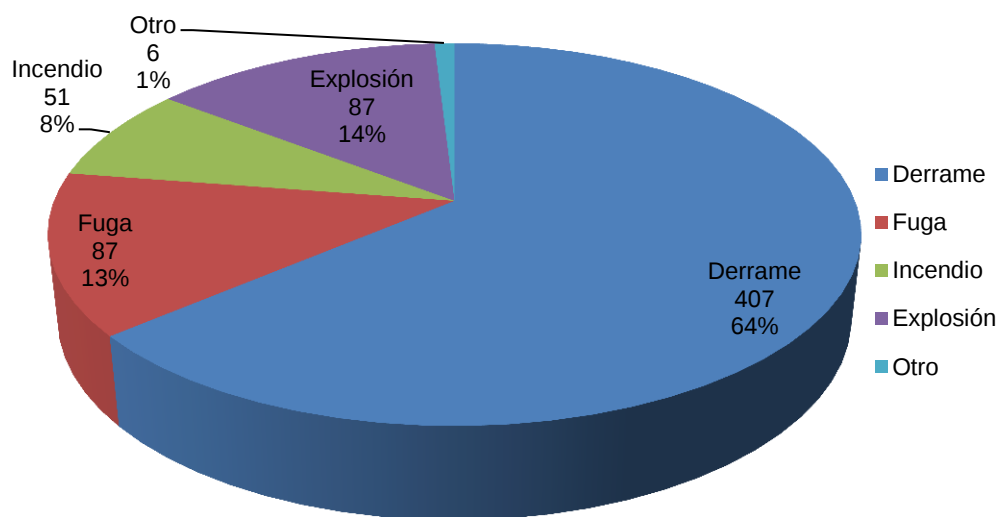
La industria petrolera en las últimas décadas ha experimentado un desarrollo acelerado, lo que es positivo para la economía del país, sin embargo ello también ha originado múltiples problemas en el ambiente, derivados de emergencias ambientales (Volke y Velasco, 2002).

De acuerdo con la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) una emergencia ambiental es aquel evento no deseado, no planeado o inesperado, durante la realización de una actividad, por causas naturales o antropogénicas, que implique la liberación de materiales peligrosos o energía en cantidades tales que ocasione daños a las personas o al medio ambiente (PROFEPA, 2013).

La información más reciente de PROFEPA muestra que el 64 % de las emergencias ambientales en el país se debe a derrames y el 13 % a fugas (Figura 5). Una fuga se presenta cuando ocurre un cambio de presión debido a rupturas en el recipiente que contenga el material o en la tubería que lo conduzca. Por su parte los derrames son el escape de cualquier sustancia líquida, sólida o la mezcla de ambas, de cualquier recipiente o conducto que la contenga como son: tuberías, equipos, tanques de almacenamiento, autotanques y carrotanques (CENAPRED, 2012).

En el 60 % de las emergencias ambientales ocurridas en el 2012, están involucradas únicamente seis tipos de sustancias, cinco de ellas pertenecientes a la familia de los hidrocarburos. Debido a la frecuencia con la que se presentaron,

resaltan gasolina, diesel, petróleo, gas natural, gas LP, combustóleo y la pólvora (PROFEPA, 2012).



Fuente: PROFEPA, 2012

Figura 5. Emergencias ambientales registradas en el año 2012 en México

❖ Industria petrolera

En el ámbito de la industria del petróleo nacional es Petróleos Mexicanos (PEMEX) la empresa encargada de la extracción, recolección, procesamiento primario, refinación, petroquímica básica, almacenamiento, medición, distribución y transporte de hidrocarburos en el país.

Opera 6 refinerías (PEMEX Refinación), en las cuales se efectúan los procesos industriales de refinación del petróleo, elaboración de productos petrolíferos y derivados del petróleo, su distribución, almacenamiento y venta de primera mano. Se encuentran ubicadas en (PEMEX, 2013b):

- Tula, Hidalgo
- Salamanca, Guanajuato
- Cadereyta, Nuevo León

- Ciudad Madero, Tamaulipas
- Salina Cruz, Oaxaca
- Minatitlán, Veracruz

Para el almacenamiento de gasolinas, diésel y otros destilados, Pemex Refinación cuenta con 77 Terminales de Almacenamiento y Reparto (TAR), en donde se reciben y almacenan productos terminados, para su despacho y reparto estaciones de servicio, clientes industriales, clientes gobierno, distribuidores y otros. Adscritas a cuatro Gerencias de Almacenamiento y Reparto, Norte, Centro, Golfo y Pacífico, con lo cual se satisface la demanda del mercado nacional de este tipo de productos (PEMEX, 2013b).

Asimismo, opera 8 complejos petroquímicos (PEMEX Petroquímica), cuyo objetivo es producir petroquímicos no básicos, así como su almacenamiento, distribución y comercialización. Transforma el gas natural y algunos derivados del petróleo en materias primas que no forman parte de la industria petroquímica básica (amoniaco, benceno, dicloroetano, etileno, metanol, óxido de etileno, paraxileno, propileno, tolueno, xilenos, entre otros), y las cuales representan la base de diversas cadenas productivas, las principales las del gas natural, las olefinas ligeras (etileno, propileno y butadienos) y la de los aromáticos. Se encuentran ubicados en (PEMEX, 2013b):

- Cangrejera
- Camargo
- Cosoleacaque
- Escolín

- Morelos
- Pajaritos
- San Martín Texmelucán
- Tula

En la Figura 6 se muestra la infraestructura de PEMEX, la Figura 7 complementa las instalaciones de la industria petrolera, ya que presenta la ubicación de las TAR en el país.

Lo anterior respecto a infraestructura instalada y operada de acuerdo con los mecanismos y reglamentos de seguridad, salud y protección ambiental seguidos por PEMEX; sin embargo, existe la posibilidad de contaminar el suelo y ocasionar severos accidentes debido a tomas clandestinas, de las cuales en el año 2013 se reportaron 2,614 en todo el país (El Universal, 2014).





Elaborado con base en datos de PEMEX, 2014

Figura 7. Terminales de Almacenamiento y Reparto en el país

2.2.1 Características de los contaminantes

Las características fisicoquímicas de los contaminantes, así como las del sitio, determinan la dispersión de los contaminantes en el suelo (Saval, 1998a).

Los contaminantes que se consideran son: el petróleo crudo (Maya, Istmo y Olmeca), así como los destilados cuyos nombres comerciales son Pemex Magna, Pemex Premium y Pemex Diesel.

Las generalidades de cada tipo de petróleo crudo son (PMI, 2013):

Maya. Es un crudo pesado de 21-22° API, y amargo (3.4-3.8 % de azufre en peso) por lo que brinda menores rendimientos de gasolina y diesel en esquemas de refinación simples en comparación con crudos más ligeros.

Istmo. Es un crudo medio de 32-33° API, y amargo (1.8% de azufre en peso) con buenos rendimientos de gasolina y destilados intermedios.

Olmeca. Es el más ligero de los crudos mexicanos, con una gravedad de 38-39° API y un contenido de azufre de 0.73% a 0.95% en peso, por lo que es un crudo ligero y amargo.

A continuación se describen de manera general los productos destilados (PEMEX, 2013a):

Pemex Magna: Mezcla de hidrocarburos parafínicos de cadena lineal y ramificada, olefinas, cicloparafinas y aromáticos, que se obtienen del petróleo. Se utiliza como combustible en motores de combustión interna. Índice de octano igual a 87 y 500 ppm de contenido máximo de azufre total.

Pemex Premium: Mezcla de hidrocarburos parafínicos de cadena recta y ramificada, olefinas, cicloparafinas y aromáticos, que se obtienen del petróleo. Se utiliza como combustible en motores de combustión interna.

Pemex Diesel UBA: Mezcla de hidrocarburos parafínicos, olefínicos y aromáticos, derivados del procesamiento del petróleo crudo. Este producto se emplea como combustible automotriz. Su contenido máximo de azufre total, es de 15.0 mg/kg.

Las características principales que se deben considerar de los hidrocarburos para seleccionar alguna tecnología son (Volke y Velasco, 2002):

Concentración en el suelo: Este factor define la naturaleza de la tecnología a emplear (biológicas, fisicoquímicas o térmicas). La concentración inicial es el factor primordial para considerar que un suelo se encuentra contaminado, ya que si la concentración de los hidrocarburos sobrepasan el límite máximo permitido por la normatividad es necesario realizar un proceso de remediación. Del mismo modo la concentración inicial de hidrocarburos permite realizar un primer acercamiento sobre cuál o cuáles tratamientos biológicos son posibles de aplicar, porque los microorganismos tienen un límite de tolerancia y rango de operación.

Estructura química: este factor, en primera instancia permite decidir si el contaminante es biodegradable, además en función de la estructura química se encuentran factores como volatilidad, densidad y toxicidad.

Toxicidad: Se requiere saber cuál es la toxicidad del contaminante para los microorganismos y seres vivos que habitan el suelo contaminado.

Solubilidad: Cantidad del contaminante que el agua puede disolver. Mientras mayor sea el tamaño de la molécula es menos soluble; los compuestos polares son más solubles que los no polares. Además la biodegradabilidad de un compuesto depende de su solubilidad. Se puede medir con el **coeficiente de partición octanol/agua (K_{ow})**, ya que es la medida de la tendencia del contaminante para separarse entre una fase acuosa y una orgánica (octanol). Los compuestos cuyo valor de K_{ow} sea menor a 10 se consideran hidrofílicos, mientras que aquellos de valor mayor a 104 son hidrofóbicos, por lo que tienden a acumularse en suelos con alto contenido de materia orgánica.

Difusión: La difusión de un contaminante hacia dentro y fuera de los poros del suelo controla su degradación. Además la velocidad de movimiento de un contaminante a través del suelo es proporcional a su concentración y a su coeficiente de difusión.

Mecanismos de sorción: Son la adsorción (atracción de un contaminante hacia la superficie de un sólido) y la absorción (penetración del contaminante en el sólido). Estos mecanismos tienen gran impacto en la degradación del contaminante y depende de las características del suelo y de los contaminantes.

Volatilidad: Es el potencial de los hidrocarburos para evaporarse, el cual depende de la concentración, presión de vapor y solubilidad. Además también depende de ciertas características del suelo, tales como contenido de humedad, temperatura, porosidad, contenido de materia orgánica y arcillas (Volke y Velasco, 2002). Es una característica importante, ya que, algunas tecnologías para remediar la contaminación, se basan en este parámetro (Calabrese, 1991).

Punto de inflamabilidad: Temperatura a la cual el hidrocarburo se enciende.

Densidad: Esta característica determina dónde se concentrará el contaminante en el suelo.

Viscosidad: Indica el potencial de los hidrocarburos para expandirse en el suelo.

Polaridad: este factor también indica en qué fase se encontrará el contaminante, puesto que los compuestos muy polares son solubles en agua.

Densidad: es un factor que determina dónde se concentrará el contaminante.

En la Tabla 1 se observan algunas características de los diferentes tipos de petróleo; la Tabla 2 muestra las características de los productos destilados

descritos anteriormente, en el Anexo II se encuentran las hojas de seguridad de éstos últimos.

Tabla 1.- Características de los petróleos crudos mexicanos

Tipo de crudo	Maya	Istmo	Olmeca
API (gravedad)	21.0-22.0	32.0-33.0	38.0-39.0
Viscosidad (SSU ¹ 100 °F)	320	60	38
Agua y sedimentos (% vol.)	0.5	0.5	0.5
Azufre (% peso)	3.4-3.8	1.8	0.73-0.95
Punto de escurrimiento (°F)	-25	-35	-55

Fuente: PMI, 2013

Tabla 2.- Características de los productos destilados

Hidrocarburo	Temperatura de ebullición [°C]	Temperatura de inflamación [°C]	Temperatura de auto ignición [°C]	Presión de vapor a 37.8°C [kPa]	Gravedad específica a 20°C	Solubilidad en agua	Viscosidad cinemática a 40°C [mm ² /s]
Pemex Magna	225	ND*	250	62-79	ND*	Insoluble	ND*
Pemex Premium	70	ND*	250	45-54	0.7-0.8	Insoluble	ND*
Pemex Diesel	275	45	254-285	ND*	>1	Insoluble	1.9-4.1

Fuente: PEMEX, 2013a

ND*: No disponible

¹ SSU: Segundos Saybolt Universales, es una medida de la viscosidad cinemática definida como el tiempo en segundos que demora en llenarse de fluido un matraz estándar de 60 ml cuando escurre el líquido por un orificio calibrado de 1/16" de diámetro interior (Planta de asfaltos del Distrito Federal, n.d.).

2.3 Marco jurídico y normatividad en materia de contaminación de suelos

En materia de prevención y control de la contaminación de los suelos en México, la regulación recae en la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) y la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR); sin embargo, dichas leyes sólo establecen lineamientos generales, por lo que el Estado debe desarrollar reglamentos y normas que garanticen su cumplimiento (SEMARNAT, 2001).

2.3.1 Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)

Establece las bases para garantizar el derecho de todos a vivir en un medio ambiente sano; el aprovechamiento sustentable; la preservación y de ser el caso la restauración del suelo y los demás recursos naturales; la prevención y control de la contaminación del aire, agua y suelo; instituye los mecanismos de coordinación entre las autoridades, personas, grupos sociales y los sectores social y privado en materia ambiental; decreta las medidas de control y seguridad para garantizar su cumplimiento, así como las sanciones que correspondan en caso de no acatarse a ella.

En el artículo 3° fracciones VI y VII se entiende por contaminación y contaminante, respectivamente, lo siguiente:

VI.- Contaminación: *La presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o de cualquier combinación de ellos que cause desequilibrio ecológico;*

VII.- Contaminante: *Toda materia o energía en cualesquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural, altere o modifique su composición y condición natural,*

En tanto que en el mismo artículo fracción XXXIII se define residuo peligroso como:

XXIII.- Material peligroso: Elementos, sustancias, compuestos, residuos o mezclas de ellos que, independientemente de su estado físico, represente un riesgo para el ambiente, la salud o los recursos naturales, por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas;

XXXIII.- Residuos peligrosos: son aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o que contengan agentes infecciosos que le confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio y por tanto, representan un peligro al equilibrio ecológico o el ambiente;

Debido a que los hidrocarburos representan un peligro al equilibrio ecológico o al ambiente, en el caso de que se derramen en el suelo y cuerpos de agua, se consideran residuos peligrosos.

A continuación se presentan los artículos de esta ley relacionados con la regulación de los hidrocarburos, en tanto se consideran residuos peligrosos, así como aquellos involucrados en la contaminación del suelo.

Los artículos contenidos en el título cuarto, capítulo IV “Prevención y control de la contaminación del suelo” se refieran a todo tipo de contaminantes, en este trabajo se presentarán sólo aquellos que regulen a los hidrocarburos (considerados como sustancias peligrosas):

ARTÍCULO 134.- Para la prevención y control de la contaminación del suelo, se considerarán los siguientes criterios:

I. Corresponde al estado y la sociedad prevenir la contaminación del suelo;

II. Deben ser controlados los residuos en tanto que constituyen la principal fuente de contaminación de los suelos;

IV.- La utilización de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas, debe ser compatible con el equilibrio de los ecosistemas y considerar sus efectos sobre la salud humana a fin de prevenir los daños que pudieran ocasionar, y

V.- En los suelos contaminados por la presencia de materiales o residuos peligrosos, deberán llevarse a cabo las acciones necesarias para recuperar o restablecer sus condiciones, de tal manera que puedan ser utilizados en cualquier tipo de actividad prevista por el programa de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que resulte aplicable.

ARTÍCULO 135.- *Los criterios para prevenir y controlar la contaminación del suelo se consideran, en los siguientes casos:*

I. La ordenación y regulación del desarrollo urbano;

II. La operación de los sistemas de limpia y de disposición final de residuos municipales en rellenos sanitarios;

III.- La generación, manejo y disposición final de residuos sólidos, industriales y peligrosos, así como en las autorizaciones y permisos que al efecto se otorguen.

IV. El otorgamiento de todo tipo de autorizaciones para la fabricación, importación, utilización y en general la realización de actividades relacionadas con plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas.

ARTÍCULO 139.- *Toda descarga, depósito o infiltración de sustancias o materiales contaminantes en los suelos se sujetará a lo que disponga esta Ley, la Ley de Aguas Nacionales, sus disposiciones reglamentarias y las normas oficiales mexicanas que para tal efecto expida la Secretaría.*

ARTÍCULO 142.- *En ningún caso podrá autorizarse la importación de residuos para su derrame, depósito, confinamiento, almacenamiento, incineración o cualquier tratamiento para su destrucción o disposición final en el territorio nacional o en las zonas en las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción. Las autorizaciones para el tránsito por el territorio nacional de residuos no peligrosos con destino a otra Nación, sólo podrán otorgarse cuando exista previo consentimiento de ésta.*

ARTÍCULO 143.- *Los plaguicidas, fertilizantes y demás materiales peligrosos, quedarán sujetos a las normas oficiales mexicanas que expidan en el ámbito de sus respectivas competencias, la Secretaría y las Secretarías de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, de Salud y de Economía. El Reglamento de esta Ley establecerá la regulación, que dentro del mismo marco de coordinación deba observarse en actividades relacionadas con dichos materiales, incluyendo la disposición final de sus residuos, empaques y envases vacíos, medidas para evitar efectos adversos en los ecosistemas y los procedimientos para el otorgamiento de las autorizaciones correspondientes.*

En el capítulo VI “Materiales y Residuos Peligrosos”, del mismo título, el siguiente artículo legisla los residuos peligrosos cuando se ha producido contaminación del suelo:

ARTÍCULO 152 BIS.- *Cuando la generación, manejo o disposición final de materiales o residuos peligrosos, produzca contaminación del suelo, los responsables de dichas operaciones deberán llevar a cabo las acciones necesarias para recuperar y restablecer las condiciones del mismo, con el propósito de que éste pueda ser destinado a alguna de las actividades previstas en el programa de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que resulte aplicable, para el predio o zona respectiva.*

La LGEEPA establece los lineamientos generales en materia de contaminación del suelo, su prevención y control, en este último aspecto esta Ley sólo contempla el término *restauración* en su artículo 3, fracción XXXIV (2014):

XXXIV.- Restauración: *Conjunto de actividades tendientes a la recuperación y restablecimiento de las condiciones que propician la evolución y continuidad de los procesos naturales;*

El concepto anterior, hasta hace algunos años, era el más adecuado para referirse a la limpieza de los suelos, no obstante, dicho término, más bien se dirige a aquellas acciones que le devuelvan al suelo su actividad biológica para el crecimiento de especies vegetales, refiriéndose a la recuperación de zonas con degradación, desertificación o desequilibrios ecológicos, sin contemplar zonas industriales, ya que en estas no hay vida (Saval, 1999).

Es la LGPGIR el documento oficial que define por primera vez el concepto de *remediación*.

2.3.2 Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR)

Esta Ley en su título primero, capítulo único, artículo 1 (2013) establece que es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados

Unidos Mexicanos en lo que respecta a la protección al ambiente en materia de prevención y gestión integral de residuos, en el territorio nacional. Su objetivo es garantizar el derecho de todas las personas a un medio ambiente sano y propiciar el desarrollo sustentable a partir de la prevención de la generación, valorización y gestión de los residuos peligrosos, residuos sólidos urbanos y de manejo especial; prevenir la contaminación de sitios con estos residuos y llevar a cabo su remediación.

Es en su artículo 5, en sus respectivos apartados, donde se definen los siguientes conceptos:

XXVIII. Remediación: *Conjunto de medidas a las que se someten los sitios contaminados para eliminar o reducir los contaminantes hasta un nivel seguro para la salud y el ambiente o prevenir su dispersión en el ambiente sin modificarlos, de conformidad con lo que se establece en esta Ley;*

XL. Sitio Contaminado: *Lugar, espacio, suelo, cuerpo de agua, instalación o cualquier combinación de éstos que ha sido contaminado con materiales o residuos que, por sus cantidades y características, pueden representar un riesgo para la salud humana, a los organismos vivos y el aprovechamiento de los bienes o propiedades de las personas;*

En ese trabajo se entenderá como sitio contaminado al suelo donde se encuentren instalaciones de la industria petrolera, que presente contaminación por hidrocarburos.

En el mismo artículo (5), se define:

XLI. Tratamiento: *Procedimientos físicos, químicos, biológicos o térmicos, mediante los cuales se cambian las características de los residuos y se reduce su volumen o peligrosidad;*

En el presente trabajo se utilizarán los conceptos anteriores en el sentido que la Ley establece.

Los siguientes artículos están relacionados con la legislación de los hidrocarburos, en tanto cumplen con las características de residuos peligrosos y la contaminación del suelo.

Título tercero, capítulo único:

Artículo 16.- *La clasificación de un residuo como peligroso, se establecerá en las normas oficiales mexicanas que especifiquen la forma de determinar sus características, que incluyan los listados de los mismos y fijen los límites de concentración de las sustancias contenidas en ellos, con base en los conocimientos científicos y las evidencias acerca de su peligrosidad y riesgo.*

Título quinto, capítulo I:

Artículo 41.- *Los generadores de residuos peligrosos y los gestores de este tipo de residuos, deberán manejarlos de manera segura y ambientalmente adecuada conforme a los términos señalados en esta Ley.*

En el mismo título, Capítulo IV:

Artículo 58.- *Quienes realicen procesos de tratamiento físicos, químicos o biológicos de residuos peligrosos, deberán presentar a la Secretaría los procedimientos, métodos o técnicas mediante los cuales se realizarán, sustentados en la consideración de la liberación de sustancias tóxicas y en la propuesta de medidas para prevenirla o reducirla, de conformidad con las normas oficiales mexicanas que para tal efecto se expidan.*

Capítulo V:

Artículo 69.- *Las personas responsables de actividades relacionadas con la generación y manejo de materiales y residuos peligrosos que hayan ocasionado la contaminación de sitios con éstos, están obligadas a llevar a cabo las acciones de remediación conforme a lo dispuesto en la presente Ley y demás disposiciones aplicables.*

Artículo 70.- *Los propietarios o poseedores de predios de dominio privado y los titulares de áreas concesionadas, cuyos suelos se encuentren contaminados, serán responsables solidarios de llevar a*

cabo las acciones de remediación que resulten necesarias, sin perjuicio del derecho a repetir en contra del causante de la contaminación.

Artículo 72.- *Tratándose de contaminación de sitios con materiales o residuos peligrosos, por caso fortuito o fuerza mayor, las autoridades competentes impondrán las medidas de emergencia necesarias para hacer frente a la contingencia, a efecto de no poner en riesgo la salud o el medio ambiente.*

En el artículo 130 del reglamento de esta Ley (Título sexto, capítulo I), se especifica que se debe realizar la remediación de los sitios contaminados con residuos peligrosos, cuando el volumen de éstos derramado, vertido o descargado sobrepase un metro cúbico.

2.3.3 Ley Federal de Responsabilidad Ambiental (LFRA)

Esta ley en su título primero, capítulo primero, artículo 1° (2013) establece que regula la responsabilidad ambiental derivada de los daños ocasionados al ambiente, la reparación y compensación de los mismos.

Para efectos de este trabajo, se cita el siguiente artículo, el cual se encuentra en el Título primero, capítulo segundo:

Artículo 13.- *La reparación de los daños ocasionados al ambiente consistirá en restituir a su Estado Base los hábitat, los ecosistemas, los elementos y recursos naturales, sus condiciones químicas, físicas o biológicas y las relaciones de interacción que se dan entre estos, así como los servicios ambientales que proporcionan, mediante la restauración, restablecimiento, tratamiento, recuperación o remediación.*

La reparación deberá llevarse a cabo en el lugar en el que fue producido el daño.

Los propietarios o poseedores de los inmuebles en los que se haya ocasionado un daño al ambiente, deberán permitir su reparación, de conformidad a esta Ley. El incumplimiento a dicha obligación dará lugar a la imposición de medios de apremio y a la responsabilidad penal que corresponda (...)

Para efectos de la ley, en el artículo 2°, inciso VIII se define estado base como:

VIII. Estado base: *Condición en la que se habrían hallado los hábitat, los ecosistemas, los elementos y recursos naturales, las relaciones de interacción y los servicios ambientales, en el momento previo inmediato al daño y de no haber sido éste producido*

Por lo que, de acuerdo a lo anterior, esta ley obliga a remediar el daño ocasionado en los suelos contaminados con hidrocarburos y en lo posible restituirlos a su estado base.

2.3.4 Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y Normas Mexicanas (NMX)

Para lograr el cumplimiento adecuado de las leyes y reglamentos se desarrollaron las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y las Normas Mexicanas (NMX), las cuales abordan lo siguiente (SEMARNAT, 2001):

- Procedimientos para la caracterización de los suelos contaminados
- Determinación de técnicas de muestreo para sitios contaminados
- Metodologías de análisis y extracción de los contaminantes
- Límites máximos permisibles de contaminantes y metodología de cálculo
- Especificaciones para la remediación

Retomando el artículo 16 del Título tercero, capítulo único, de la LGPGIR, se especifica que son las normas oficiales mexicanas las cuales establecerán la clasificación de un residuo como peligroso, fijarán los límites de concentración de dichas sustancias y la forma de determinar sus características.

La NOM-052-SEMARNAT-2005, establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos, en su apartado 6.3.3 dispone que en materia de contaminación con hidrocarburos es la NOM-138-SEMARNAT/SS-2012, Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y

las especificaciones para su caracterización y remediación, la que debe cumplirse. En dicha norma se establecen los hidrocarburos que deberán analizarse de acuerdo al producto contaminante (Tabla 3 y Tabla 4), así como la concentración máxima permitida de los compuestos contaminantes en el suelo, según su uso (Tabla 5).

Tabla 3.- Hidrocarburos que deberán analizarse en función del producto contaminante

Producto contaminante	HIDROCARBUROS				
	Fracción pesada ¹	Fracción media ²	Fracción ligera ³	HAPs ⁴	BTEX ⁵
Mezclas	X	X	X	X	X
Petróleo crudo	X	X	X	X	X
Combustóleo	X			X	
Parafinas	X			X	
Petrolatos	X			X	
Aceites	X			X	
Gasóleo		X		X	
Diesel		X		X	
Turbosina		X		X	
Queroseno		X		X	
Creosota		X		X	
Gasavión			X		X
Gasolvente			X		X
Gasolinas			X		X
Gasnafta			X		X

Fuente: NOM-138-SEMARNAT/SS-2012

¹Hidrocarburos fracción pesada: Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contengan entre veintiocho y cuarenta átomos de carbono (C_{28} a C_{40}).

²Hidrocarburos fracción media: Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contengan entre diez y veintiocho átomos de carbono (C_{10} a C_{28}).

³Hidrocarburos fracción ligera: Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contengan entre cinco y diez átomos de carbono (C_5 a C_{10}).

⁴HAP: Hidrocarburos aromáticos policíclicos o polinucleares.

⁵BTEX: B, benceno; T, tolueno; E, etilbenceno; X, xilenos (suma de isómeros orto-, meta y para-).

Tabla 4.- Contaminante en cada fracción del petróleo

HIDROCARBUROS		
Fracción pesada	Fracción media	Fracción ligera
Mezclas	Gasóleo	Gasavión
Petróleo crudo	Diesel	Gasolvente
Combustóleo	Turbosina	Gasolinas
Petrolatos	Keroseno	Gasnafta
Aceites	Creosota	Mezclas
Parafinas	Mezclas	

Fuente: NOM-138-SEMARNAT/SS-2012

Tabla 5. Límites máximos permisibles para fracciones de hidrocarburos en suelo

Fracción de hidrocarburos	Uso de suelo predominante (mg/kg base seca)		
	Agrícola	Residencial	Industrial
Ligera	200	200	500
Media	1,200	1,200	5,000
Pesada	3,000	3,000	6,000

Fuente: NOM-138-SEMARNAT/SS-2012

2.4 Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos

De acuerdo a la normatividad, el proceso de remediación de un sitio contaminado es la aplicación de diversas medidas para eliminar o reducir los contaminantes hasta niveles permisibles, para lograrlo existen diversos tratamientos y/o tecnologías.

Las tecnologías para tratar los suelos contaminados, se pueden distinguir a partir de los siguientes enfoques (Volke y Velasco, 2002):

- Estrategia de remediación: Las acciones que se puede realizar (separadas o en conjunto) para remediar el sitio contaminado, son destrucción (alteración de la estructura del contaminante), separación (a partir de las propiedades físicas o químicas de los contaminantes se separan del suelo)

e inmovilización del contaminante (los contaminantes se estabilizan, solidifican o contienen utilizando métodos físicos o químicos).

- Lugar donde se realiza el proceso de remediación: Puede ser *in situ* (las acciones de remediación se realizan en el mismo sitio que ha sido contaminado) o *ex situ* (se requiere remover el suelo contaminado antes de aplicarle algún tratamiento). En la Tabla 6 se muestra un cuadro comparativo de las ventajas y desventajas de cada una.
- Tipo de tratamiento: De acuerdo al principio de funcionamiento en el que cada tecnología se base se identifican los tratamientos biológicos, fisicoquímicos y térmicos, más adelante se describe a detalle cada tipo de tratamiento.

En la Figura 8 se muestra un mapa resumen de las diferentes tecnologías de remediación de suelos.

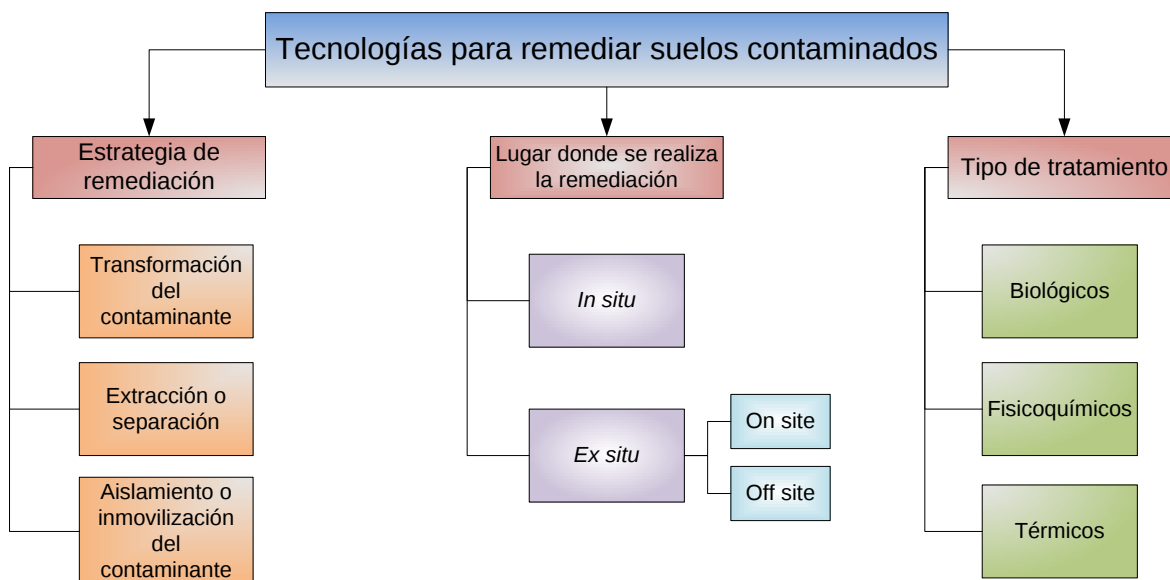


Figura 8.- Resumen de las tecnologías para remediar suelos contaminados

Tabla 6.- Cuadro comparativo de las ventajas y desventajas entre tecnologías *in situ* y *ex situ*

Tecnologías	Ventajas	Desventajas
<i>In situ</i>	No hay necesidad de excavar ni transportar el suelo Disminución en costos de transporte y equipos de excavación	Tiempo de tratamiento mayor Dificultad para muestrear y verificar eficacia del proceso Heterogeneidad en las características del suelo
<i>Ex situ</i>	El suelo es homogeneizado y se puede muestrear periódicamente	Se requiere excavar el suelo Incremento en costo por equipos de ingeniería Posible exposición al contaminante y manipulación del suelo

Fuente: Volke y Velasco, 2002

Las tecnologías *ex situ* pueden realizarse en el mismo sitio (*on site*) o fuera del sitio (*off site*) (Cortés, 2011).

En el siguiente apartado se describen brevemente los diferentes tipos de tratamiento de acuerdo a su principio de funcionamiento, también se incluyen los costos, los cuales se reportan en dólares (a pesos constantes) y se especifica el año al cual fue calculado. No se realiza la actualización a pesos corrientes, debido a que en dicho cálculo no se considera el cambio e incremento de la eficiencia de las tecnologías.

2.4.1 Tratamientos fisicoquímicos

Estos tratamientos utilizan las propiedades físicas o químicas de los contaminantes con el objetivo de destruir, separar o contener la contaminación (Volke y Velasco, 2002).

En comparación con las tecnologías biológicas, requieren menor tiempo, sin embargo se producen compuestos que también requieren ser tratados, lo que se suma a los costos totales de este tipo de tratamientos (FRTR, 2014).

❖ Tecnologías *ex-situ*

Proceso de oxidación-reducción.- esta tecnología se basa en reacciones químicas de óxido-reducción, las cuales convierten los contaminantes en compuestos de menor toxicidad, más estables, los inmoviliza o convierte en inertes. Lo anterior se logra con base en transferencia de electrones de un compuesto a otro, donde el que se oxida pierde electrones y el que se reduce los gana. Los agentes de oxidación que se utilizan comúnmente son ozono, peróxido de hidrógeno, hipocloritos.

Esta tecnología se puede utilizar con distintos grados de efectividad tratando compuestos orgánicos volátiles, combustibles y pesticidas.

Su costo puede variar de acuerdo al tipo de contaminante, extensión del área contaminada, tipo de suelo, entre otros factores, sin embargo oscila en un rango estimado de 190 - 660 USD/m³ (FRTR, 2014).

Procesos de separación.- su objetivo es reducir la concentración de contaminantes en el suelo, hasta la cantidad en que por normatividad se considere un suelo tratado. Existen varias técnicas para lograrlo, en el caso de suelos contaminados con hidrocarburos, el más empleado es el proceso de separación física, el cual se basa en el hecho de que la mayoría de los compuestos orgánicos tienden a atraerse y acumularse en la arcilla o limo, quienes a su vez se unen físicamente a arena y grava (partículas de mayor tamaño), por lo que al separar el limo y arcilla de la arena y grava se reduce el volumen de suelo a tratar (FRTR, 2014).

El costo de esta tecnología depende del tipo de suelo, tipo de contaminante y volumen de la contaminación.

Lavado de suelos.- separa los contaminantes del suelo utilizando un fluido, el cual posteriormente debe recibir tratamiento. Los contaminantes son sorbidos en

las partículas de menor tamaño del suelo, a través del uso de soluciones acuosas en el suelo excavado, lo que reduce el volumen de contaminación (Volke y Velasco, 2002).

La limitante del lavado de suelos, es que a veces las soluciones que se utilizan pueden alterar las propiedades del suelo (Volke y Velasco, 2002).

El intervalo en el que oscila el costo de esta tecnología es de 70 - 187 USD/m³ (FRTR, 2014). Esta tecnología también se puede aplicar *in situ* (FRTR, 2014).

Solidificación - Estabilización.- la solidificación es el proceso que atrapa los contaminantes en un material sólido; la estabilización limita la movilidad de los contaminantes en el medio. Lo anterior se logra agregando al suelo cemento Portland, cal o polímeros que aseguren que los compuestos peligrosos disminuyan su movilidad (Volke y Velasco, 2002). El costo de aplicar esta tecnología depende del área contaminada y el tipo de aditivo para inmovilizar, su rango oscila entre 200 - 250 USD/m³ (FRTR, 2014).

Esta tecnología también se puede aplicar *in situ* (FRTR, 2014).

❖ Tecnologías *in-situ*

Extracción de vapores.- se realiza un vacío en el suelo para inducir un flujo de aire continuo y controlado, lo que remueve los contaminantes volátiles del suelo. Esta tecnología se utiliza comúnmente para remediar sitios contaminados por derrames o fugas de compuestos orgánicos volátiles (COV) y algunas gasolinas (Volke y Velasco, 2002).

El costo de operación oscila entre los 10 - 50 USD/m³ (Volke y Velasco, 2002).

Fracturación.- Incrementa la eficiencia de otras tecnologías *in situ* cuando el suelo presenta un relieve accidentado. Se extienden las fracturas existentes en el

sitio, se amplían las fisuras y se introducen nuevas, principalmente en la dirección horizontal. Cuando se ha terminado el proceso de fracturación se extraen los vapores mediante la aplicación de vacío (FRTR, 2014).

Esta tecnología no se debe emplear en sitios con alta actividad sísmica, además existe la posibilidad de abrir nuevos caminos para que los contaminantes se difundan, por lo que su uso debe realizarse con especial cuidado.

Su costo estimado oscila en 100 - 200 USD/m³ si la remediación se efectúa en un año (FRTR, 2014).

2.4.2 Tratamientos térmicos

Estos tratamientos utilizan altas temperaturas para volatilizar los contaminantes, quemarlos, descomponerlos o fundirlos, con lo cual se logra separarlos o inmovilizarlos del suelo (Volke y Velasco, 2002).

Los residuos o cenizas que se generan pueden ser peligrosos, pero el volumen es considerablemente menor a la cantidad inicial del contaminante en el suelo. Las tecnologías más comunes son (Keith, 1991):

❖ Tecnologías ex-situ

Incineración.- es una tecnología *ex-situ*, la cual se basa en la destrucción térmica de la contaminación a partir de la combustión, para lograrlo existen diversos tipos de incineradores, los cuales operan en un rango de temperatura que va de 870°C a 1,200°C en presencia de oxígeno. Esta opción de remediación es costosa y el tiempo de espera para volver a trabajar en el sitio es largo. Además los gases producto de la combustión requieren ser tratados (Volke y Velasco, 2002).

En la Tabla 7 se muestran los costos de utilizar esta tecnología (FRTR, 2014), para cuatro escenarios, de los cuales A y C se consideran fáciles de remediar por

la localización de los contaminantes, mientras que B y D difíciles por la misma razón.

Tabla 7.- Costos de la incineración

Escenario	A	B	C	D
	Sitio pequeño*		Sitio grande*	
Tipo de contaminante	COV	COV	COV	COV
Localización del contaminante	Superficie del suelo	Sedimentos	Superficie del suelo	Sedimentos
Volumen total de suelo contaminado [m ³]	11,468	11,468	76,453	76,453
Contenido de humedad del contaminante [%]	20	55	20	55
Movilización del contaminante [km]	80.465	80.465	80.465	80.465
Costo [USD/m³]	1,047	1,540	914	1,399

Fuente: FRTR, 2014

* De acuerdo al volumen de suelo contaminado

Conversión catalítica.- es la incineración utilizando un catalizador, el cual reduce la temperatura, por lo general es un procedimiento costoso (Keith, 1991).

Pirólisis.- es un procedimiento *ex-situ*, que transforma los compuestos orgánicos en gases o líquidos y un residuo de coque. Se realiza a temperaturas mayores a 430°C y bajo presión. Los gases que se obtienen requieren tratamiento adicional (FRTR, 2014).

El costo promedio de esta tecnología es de 300 dólares por tonelada (FRTR, 2014).

Desorción térmica.- es un proceso *ex -situ* de separación física, en el cual los contaminantes orgánicos se vaporizan del suelo, los gases resultantes reciben tratamiento. La desorción térmica puede realizarse con base en inyección a presión de aire caliente, inyección de vapor y calentamiento del suelo por ondas

de radio las cuales producen energía que se transforma en energía térmica (Volke y Velasco, 2002).

En la Tabla 8 se muestran los costos de la desorción térmica en cuatro escenarios generales.

Tabla 8.- Costos de la desorción térmica

Escenario	A	B	C	D
	Sitio pequeño*		Sitio grande*	
Tipo de contaminante	COV/ combustibles	COV	COV/ combustibles	COV
Volumen de contaminantes [Toneladas]	10,000	10,000	300,000	300,000
Costo [USD/m³]	105.9	329.6	57.6	143.9

Fuente: FRTR, 2014

* De acuerdo al volumen de suelo contaminado

❖ Tecnologías in-situ

Vitrificación.- proceso *in situ*, en el cual se utiliza electricidad para fundir el suelo contaminado en el rango de temperaturas de 1,600 - 2,000 °C. Este proceso destruye los contaminantes orgánicos, el producto que se obtiene es un material cristalino estable (Volke y Velasco, 2002).

En la Tabla 9 se muestran los costos de los tratamientos térmicos *in-situ*, de forma general para cuatro escenarios (FRTR, 2014).

Tabla 9.- Costos de los tratamiento térmicos *in-situ*

Escenario	A	B	C	D
	Sitio pequeño*		Sitio grande*	
Tipo de contaminante	COV	COV	COV	COV
Tipo de suelo	Limo/ mezcla arcillo-limosa	Arena/ mezcla de arena-grava	Limo/ mezcla arcillo-limosa	Arena/ mezcla de arena-grava

Escenario	A	B	C	D
Permeabilidad [Darcies]	0.1	5	0.1	5
Área contaminada [m ²]	2,322,576	2,322,576	20,903,184	20,903,184
Profundidad de área contaminada [m]	4.6	4.6	4.6	4.6
Costo [USD/m³]	66.71	81.10	37.93	49.70

Fuente: FRTR, 2014

* De acuerdo al volumen de suelo contaminado

2.4.3 Tratamientos biológicos

Estos tratamientos son los que tienen mayor relevancia para alcanzar el objetivo del presente trabajo, sus costos del mismo modo, que en los tratamientos previamente abordados, se especifican en dólares, debido a que se obtuvieron de fuentes estadounidenses, en este caso en particular, porque los costos de los tratamientos biológicos en México aún no se encuentran bien documentados.

Los tratamientos biológicos o biorremediación, se basan en el metabolismo de algunos organismos, tales como plantas, hongos o bacterias, para transformar los contaminantes en compuestos menos tóxicos (Volke y Velasco, 2002).

El proceso de biorremediación se puede llevar a cabo por reacciones de oxidación-reducción, procesos de intercambio iónico, reacciones de acomplejamiento y quelación (Volke y Velasco, 2002).

Los microorganismos degradan las sustancias químicas, como los productos del petróleo, por medio de tres posibles vías metabólicas: respiración aerobia, respiración anaerobia y fermentación (Englert, Kenzie y Dragurt, 1993):

- Respiración aerobia: en presencia de oxígeno y nutrientes los microorganismos oxidan los compuestos orgánicos en dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O) u otros productos, utilizando las moléculas de oxígeno como aceptor terminal de electrones.

- Respiración anaerobia: en ausencia de oxígeno los contaminantes son degradados a metano (CH_4), cantidades limitadas de CO_2 y pequeñas cantidades de hidrógeno (H_2). Cuando se requiere reducir sulfatos (SO_4^{2-}), éstos se convierten a azufre elemental (S); en caso de que se requiera reducir nitratos, éstos se convierten en gas dinitrógeno (N_2). Sustancias inorgánicas son las aceptoras terminales de electrones.
- Fermentación: este proceso es independiente del oxígeno y depende de los compuestos orgánicos, ya que éstos son los aceptores de electrones. Se obtiene una gran variedad de productos finales como dióxido de carbono, etanol, acetato, etc.

La velocidad de biodegradación de los contaminantes orgánicos está función de la estructura química del compuesto, de su concentración, de los organismos que se encargarán de efectuar la degradación, así como del suministro de oxígeno, nutrientes, control de humedad, temperatura, tipo de suelo, enzimas de los microorganismos (FRTR, 2014).

A continuación se detallará cada parámetro anterior (FRTR, 2014):

- Oxígeno: es de suma importancia controlar la cantidad de este compuesto y garantizar que este siempre disponible para los organismos, en el caso de procesos aerobios.
- Agua: es el medio de transporte de los nutrientes hacia las células de los organismos. Además se requiere monitorear su suministro, ya que el rango de humedad adecuado para el óptimo funcionamiento del sistema de biorremediación oscila entre el 20 - 80 %.
- Nutrientes: se requiere asegurar que los organismos dispongan de nutrientes en cantidades adecuadas, para que efectúen sus actividades metabólicas. Los principales nutrientes que se requieren para el crecimiento

celular son nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, magnesio calcio, manganeso, hierro, zinc y cobre.

- pH: es un factor que afecta la solubilidad de varios componentes del suelo, incluyendo la de ciertos metales que potencialmente podrían envenenar los microorganismos, por lo que elevar el pH del sistema reduciría esta posibilidad.
- Temperatura: este factor afecta la actividad microbiana del sistema. Temperaturas bajas detienen las actividades de los organismos, elevar demasiado la temperatura podría esterilizar el suelo.
- Tipo de suelo: es importante tener en cuenta las propiedades del tipo de suelo a remediar, por ejemplo los suelos arcillosos adsorben los contaminantes, lo que limita la disponibilidad de éstos a los organismos.
- Enzimas: son las responsables de catalizar el metabolismo microbiano, cuando las sustancias químicas se introducen al interior de los organismos por medio de la membrana, la transformación química dependerá de las colisiones de dichos químicos con las enzimas (Englert, Kenzie y Dragurt, 1993).
- Estructura del compuesto: la biodegradación de los hidrocarburos se puede estimar con base en la estructura de los compuestos de acuerdo al tamaño de la cadena de carbonos, grupos funcionales, entre otros (Englert, Kenzie y Dragurt, 1993).

En la Tabla 10 se muestra un resumen de los factores involucrados en el proceso de biorremediación y las principales observaciones respecto a éstos.

Tabla 10.- Requerimientos y factores para la biorremediación

Factor	Observaciones
Tipo de hidrocarburos	Mejor con combustibles, lubricantes, petróleo crudo. Más difícil con aceite hidráulico, hidrocarburos muy viscosos, o hidrocarburos contaminados con otros compuestos (como metales, plaguicidas, etc.).
Tipo de material	Mejor con materiales de textura mediana o franca, con alto contenido de materia orgánica. Más difícil con materiales muy arcillosos.
pH	En zonas pantanosas, o en algunos suelos ácidos de sabana (como los ferrosoles, acrisoles y luvisoles) se puede manejar un pH de 4 a 6 sin mucho problema si se utilizan bacterias nativas. En la mayoría de suelos un pH de 6 a 8 es más adecuado. De acuerdo a la NOM-138-SEMARNAT/SS-2012 se debe garantizar al final de la remediación que el pH del suelo remediado sea similar al de la zona aledaña.
Salinidad	Puede variar mucho. Si está en una zona de manglares se debe usar bacterias nativas, las cuales son adaptadas a las condiciones. El suelo contaminado de un marisma puede tener demasiadas sales para usar la biorremediación.
Aireación	Es importante mantener condiciones aerobias debido a que las tasas de biodegradación en condiciones anaerobias son aprox. 50 a 100 veces menores. Esto se logra utilizando un buen sistema de drenaje, y aireando el suelo frecuentemente (mínimo de cada tres días) con maquinaria (como un tractor).
Lixiviados	Es importante tener un buen sistema para colectar los lixiviados, por ejemplo en el caso específico de una celda de "land farming". Estos se pueden usar para rehumedecer la celda, así se conservan los nutrimentos y bacterias en ella.
Techo	Es muy recomendable usar un techo en climas tropicales debido a las lluvias fuertes.
Nutrimentos	Se necesita mantener las concentraciones de nutrimentos inorgánicos en el rango de aprox. 100 ppm N, >10 ppm P, y >1 ppm K. El empleo de fertilizantes agrícolas comunes frecuentemente cumple con esta necesidad.
Temperatura	La biorremediación funciona en un rango de temperatura de aprox. 5 a 40 °C, pero es mejor en una temperatura de aprox. 30 a 35 grados, idóneo para climas tropicales.
Bacterias nativas	Es mejor usar las bacterias nativas del sitio debido a que éstas ya están adaptadas a las condiciones particulares del sitio, y su desarrollo cuesta mucho menos que la compra de fórmulas comerciales de bacterias.
Acondicionadores	Para mejorar el drenaje y mantenimiento de humedad en la celda se puede agregar otros materiales como arena, paja, cáscara de nuez, etc.
Humedad	Es necesario controlar la humedad en los tratamientos biológicos, en el caso específico de una celda de biolabranza se debe mantener en el rango de 50 a 75 % de la capacidad de campo del material a tratar (ya con su acondicionamiento).

Fuente: Tomado y adaptado de Schroeder, Domínguez y García, 1999.

❖ Tecnologías ex-situ

Este tipo de procesos pueden ser en fase de lodos en el cual el suelo se mezcla con agua, microorganismos y nutrientes; o en fase sólida, donde el suelo se trata en una celda o en membranas impermeables a los cuales se les agrega agua y nutrientes (Volke y Velasco, 2002).

Composteo.- este proceso permite tratar suelos contaminados con compuestos orgánicos para convertirlos en subproductos inocuos por medio de microorganismos, ya sea en condiciones aeróbicas y anaeróbicas; las condiciones termófilas oscilan entre 54 - 65 °C, este factor debe ser controlado, ya que la temperatura del sistema se incrementa como resultado de las actividades metabólicas de los organismos (FRTR, 2014). El suelo contaminado se mezcla con agentes de volumen, los cuales son materiales biodegradables que cumplen con la función de balancear los nutrientes, proporcionar mejor aireación y generar calor, algunos de éstos pueden ser aserrín, paja, estiércol, desechos agrícolas, entre otros. Los sistemas de composteo pueden ser tambores rotatorios, tanques circulares, recipientes abiertos y biopilas (Volke y Velasco, 2002).

Los hidrocarburos deben ser no halogenados y encontrarse en el suelo en concentraciones menores a 50,000 ppm; las condiciones de humedad deben ser entre 40 - 85%, la temperatura estar entre 10 - 45°C; en textura la proporción de arcillas debe ser baja; el pH encontrarse entre 6 y 8, y baja presencia de baja presencia de metales pesados (Torres y Zuluaga, 2009).

Esta tecnología se ha aplicado exitosamente para remediar suelos contaminados con gasolinas. Sus limitaciones son de espacio, posible liberación de COV al excavar el suelo (FRTR, 2014).

Su costo depende del tipo de contaminantes, volumen de suelo contaminado, disponibilidad de los agentes de volumen, en la Tabla 11 se muestran los costos de esta tecnología para dos escenarios.

Tabla 11.- Costos del composteo

Escenario	A	B
	Sitio pequeño*	Sitio grande*
Tipo de contaminante	Petróleo	Petróleo
Tipo de suelo	Mezcla arcillo-limosa	Mezcla arcillo-limosa
Volumen de suelo tratado [m ³]	9,940	18,350
Costo [USD/m³]	374	367

Fuente: FRTR, 2014

* De acuerdo al volumen de suelo contaminado

Biopilas.- es la forma más utilizada de composteo para reducir las concentraciones de petróleo. El suelo contaminado además de mezclarse con agentes de volumen, se le adicionan nutrientes. El área de tratamiento se cubre con un revestimiento impermeable para evitar que lixiviados lleguen al suelo no contaminado, sobre el revestimiento se coloca el suelo contaminado apilado, la altura máxima recomendada es de 3 m. Las pilas formadas de suelo pueden cubrirse con material impermeable (FRTR, 2014).

Los costos se encuentran en función del tipo de contaminante, requerimientos de tratamientos previos o posteriores, necesidad de equipos para control de emisión de aire, en general requieren poco personal para operar esta tecnología. El costo promedio oscila entre 130 - 260 USD/m³ (FRTR, 2014).

Biorreactores.- este proceso también se conoce como biorremediación en fase de lodos, se utiliza para tratar suelos heterogéneos poco permeables. Está tecnología combina procesos químicos, físicos y biológicos, lo que acelera la biodegradación (Volke y Velasco, 2002).

El biorreactor más utilizado es el de lodos, en el cual el suelo contaminado se mezcla con líquido, la degradación se efectúa en la fase acuosa (Volke y Velasco, 2002).

Esta tecnología es de corto a mediano plazo, su costo oscila entre 130 - 200 USD/m³ (Volke y Velasco, 2002).

Biolabranza.- esta tecnología también se conoce como degradación en fase sólida (FRTR, 2014), reduce la concentración de compuestos de petróleo, ya que el suelo contaminado se mezcla con agentes de volumen, además se estimula la actividad microbiana, a través de la aireación, adición de nutrientes, control de humedad y pH; asimismo se pueden agregar bacterias degradadoras de petróleo para que la remediación sea más rápida (Khan, Husain y Hejazi, 2004). Para lograr que los contaminantes, el suelo, el clima y los microorganismos interactúen se requiere labrar el suelo (FRTR, 2014).

Para aplicar esta tecnología se requiere evaluar la topografía, erosión, clima y permeabilidad del suelo, con el objetivo de diseñar óptimamente la instalación (FRTR, 2014).

Es importante tener en cuenta que los COV deben ser tratados con anticipación, ya que se volatilizan en la atmósfera durante el proceso de labranza, la degradación no es eficiente en componentes pesados del petróleo, el rango de temperatura óptima es de 25 - 40 °C, el rango de contenido de humedad óptimo es de 18 - 33 %, el mantenimiento del pH en el suelo debe ser entre 6.5 - 7 (Khan, Husain y Hejazi, 2004).

Diesel, algunas gasolinas, lodos aceitosos, residuos de coque y algunos pesticidas han sido tratados exitosamente con esta tecnología (FRTR, 2014).

El tiempo de tratamiento oscila entre 6 meses y 2 años, el costo de remediación por esta tecnología es aproximadamente entre 30 y 70 USD/m³ (Volke y Velasco, 2002).

❖ Tecnologías in-situ

Su objetivo es estimular el crecimiento de los organismos a partir de los contaminantes, lo cual se puede lograr con el suministro de oxígeno, nutrientes, otros microorganismos, manteniendo controlada la temperatura, humedad y pH (Volke y Velasco, 2002).

Bioventeo.- su objetivo es estimular la biodegradación natural de los contaminantes en condiciones aerobias, a partir de suministrar aire por medio de pozos de extracción o movimiento forzado con bajas velocidades de flujo, para proveer al sistema únicamente el oxígeno requerido para que los organismos degradadores efectúen sus actividades (Volke y Velasco, 2002).

Esta técnica se ha utilizado con éxito en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos, solventes no clorados, pesticidas, conservadores de madera y otros compuestos orgánicos (FRTR, 2014).

Sus limitaciones son el tipo y concentración de los contaminantes, falta de nutrientes del suelo, bajo contenido de humedad, dificultad para proveer el aire necesario (Volke y Velasco, 2002).

Dependiendo del tipo de suelo, concentración de los contaminantes y tiempo de limpieza (puede variar desde meses hasta años) su costo oscila entre 10 - 70 USD/m³ (Volke y Velasco, 2002).

Bioestimulación.- es un proceso en el cual se agrega al sitio nutrientes y oxígeno, para estimular las actividades metabólicas de los organismos autóctonos o agregados al suelo, con el objetivo de degradar contaminantes orgánicos y convertirlos en productos inocuos. Puede realizarse bajo condiciones aerobias o anaerobias (FRTR, 2002).

Este procedimiento se ha utilizado con éxito para remediar suelos contaminados con gasolinas, COV y pesticidas (Volke y Velasco, 2002); sin embargo, cuando la estructura del suelo no permite el contacto de los contaminantes con los microorganismos, no es posible limpiarlo. Hacer circular por el suelo soluciones base agua podría movilizar los contaminantes, lo que implica que el agua subterránea requerirá tratamiento. Hidrocarburos de cadena larga tienen un alta probabilidad de envenenar a los microorganismos, es necesario controlar la temperatura, porque a bajas temperaturas el proceso se vuelve lento (FRTR, 2014).

Deben existir condiciones de pH entre 6 y 8, de humedad entre 12-30% en peso, temperatura entre 0 y 40 °C (Torres y Zuluaga, 2009). El periodo de tiempo requerido para el tratamiento puede variar de 6 meses a 5 años y depende de muchos factores específicos del sitio (FRTR, 2014). Su costo oscila entre 30 - 100 USD/m³ (Volke y Velasco, 2002).

Bioaumentación.- es la adición de microorganismos vivos al sitio contaminado, los cuales tienen la capacidad de degradar los contaminantes. El tamaño del inóculo se encuentra en función del área contaminada, movilidad de los contaminantes y velocidad de crecimiento de los organismo degradadores (Volke y Velasco, 2002).

Se ha utilizado para tratar suelos contaminados con pesticidas e hidrocarburos exitosamente, sin embargo, se requiere aislar a los microorganismos capaces de degradar el contaminante de interés y cultivarlo hasta obtener grandes cantidades de éstos (Volke y Velasco, 2002).

El tiempo de remediación puede ser desde varios meses a años, su costo no es alto (Volke y Velasco, 2002).

Fitorremediación.- esta tecnología se basa en el uso de plantas para remover, transferir, estabilizar, concentrar o transformar en compuestos inocuos

contaminantes en suelos, lodos y sedimentos. Los mecanismos que se incluyen en este proceso son rizodegradación, fitoacumulación, fitodegradación y fitoestabilización (FRTR, 2014):

- Rizodegradación: este proceso se efectúa en el área de suelo que rodea inmediatamente a las raíces. Las sustancias naturales que liberan las raíces proveen de nutrientes a los microorganismos, lo que mejora la actividad microbiana; asimismo las raíces aflojan el suelo y posteriormente mueren, lo que abre caminos para el transporte de agua y aire. Las plantas más utilizadas en este proceso son los álamos, ya que crecen rápidamente y soportan una amplia variedad de climas.
- Fitoacumulación: en este proceso los contaminantes, son captados por las raíces y posteriormente son transportados hacia tallos y hojas, lo que se conoce como fitoextracción.
- Fitodegradación: los contaminantes se metabolizan en los tejidos vegetales, debido a que las plantas producen enzimas que ayudan a catalizar la degradación.
- Fitoestabilización: en este proceso las plantas producen compuestos químicos que adsorben o forman complejos con los contaminantes, inmovilizándolos en la interfase raíces-suelo (Sellers, 1999).

Esta tecnología se ha aplicado eficientemente para tratar metales pesados, disolventes clorados, hidrocarburos, benceno, tolueno, xilenos y metales radioactivos (Volke y Velasco, 2002).

Utilizar esta tecnología es una forma de remediar el suelos con impactos mínimos al ambiente, ya que la generación de residuos secundarios es mínima, en el caso de los contaminantes orgánicos se convierten en CO_2 y H_2O . Debido a que las raíces captan el agua, se puede prevenir la contaminación del agua subterránea;

sin embargo, se encuentra limitada por el clima, condiciones hidrológicas y estación del año, además se requiere disposición especial de las plantas, asimismo es importante vigilar este proceso, debido a que los contaminantes podrían entrar a la cadena alimenticia a través de los animales que comen las plantas utilizadas (Khan, Husain y Hejazi, 2004). De la misma forma es necesario tener en cuenta la concentración de los contaminantes, ya que a muy altas concentraciones las plantas pueden ser envenenadas (FRTR, 2014).

El costo de remediación de esta tecnología depende del tamaño del sitio contaminado, concentración y tipo de contaminantes, entre otros factores, por lo que el rango de costo estimado es muy amplio, pudiendo oscilar entre 200 y 2,000 USD/m³ (FRTR, 2014).

2.4.3.1 Perspectivas para la biorremediación

Desde hace más de quince años, el proceso de biorremediación ha sido planteado como una alternativa tecnológica factible para remediar sitios contaminados con hidrocarburos, ya que son contaminantes biodegradables (Saval, 1998a). Además ha demostrado ser un proceso, eficiente, limpio, seguro y menos costoso, en comparación con tratamientos fisicoquímicos (Saval, 1998b).

Este proceso, se encuentra limitado a la capacidad metabólica de los microorganismos involucrados, por lo que si las concentraciones de hidrocarburos son muy altas este proceso puede resultar no ser factible (Saval, 1998a).

Desde la década de 1990, se iniciaron investigaciones sobre componentes esenciales involucrados en la transferencia extracelular de electrones en los microorganismos, dichos compuestos se han nombrado como *electron-shuttles* (ES), los cuales facilitan la transferencia de electrones entre microorganismos, donación de sustancias a los microorganismos, o desde los microorganismos hasta sustancias aceptores de electrones (Watanabe, Manefield, Lee y Kouzuma, 2014).

Los *electron-shuttles* o mediadores redox son moléculas orgánicas que poseen la capacidad de ser oxidadas o reducidas reversiblemente, por lo que pueden actuar en múltiples reacciones. En el proceso de biorremediación, estos compuestos pueden ser utilizados para incrementar la capacidad metabólica de los microorganismos para degradar hidrocarburos (Van der Zee y Cervantes, 2009).

2.5 Selección de las tecnologías de remediación de suelos

Para seleccionar la tecnología de remediación, previamente se requiere realizar un diagnóstico en el sitio contaminado, lo que demanda que diversas disciplinas interactúen para obtener resultados lo más completos posibles (Saval, 1998a).

La selección de la tecnología más apropiada para remediar un sitio contaminado depende principalmente del contaminante, las características del sitio contaminado y la regulación ambiental (Sellers, 1999):

- Contaminante: son sus características físicas las que determinan su persistencia y movimiento en el ambiente. Su estructura química da cuenta de la toxicidad para las personas y el ecosistema, como consecuencia permite establecer los límites de limpieza.
- Sitio contaminado: en lo que concierne al sitio es el uso de suelo (industrial, agrícola o residencial), su localización y características (por ejemplo tamaño de partícula, permeabilidad, contenido de materia orgánica, entre otros), los factores que deciden el nivel de limpieza y los métodos que pueden emplearse para alcanzarlo.
- Regulación ambiental: especifica los procedimientos a seguir para estudiar el sitio, establece los límites máximos permisibles de contaminantes en el suelo, da seguimiento y monitoreo a los sitios contaminados para su remediación.

La capacidad de las tecnologías de tratamiento puede variar de acuerdo a las condiciones específicas del sitio y del contaminante, como se abordó en la sección anterior, su efecto en éste puede ser de contención, separar el contaminante del suelo o convertirlo en sustancias inocuas.

Anteriormente la tecnología se seleccionaba con base en el costo, sin embargo, a pesar de que el costo es un punto importante para tomar la decisión, se requiere realizar un análisis de todos los aspectos involucrados, ya que por lo general la mejor opción económica, necesariamente no es la mejor alternativa técnica (Saval, 1998a).

El uso de una tecnología en particular depende, de su disponibilidad, confiabilidad, nivel de desarrollo, capacidad y costo, factibilidad, antecedentes y ubicación del sitio contaminado.

Cada tecnología tiene un costo total asociado, el cual se compone por el costo directo, costo de operación y costo de mantenimiento:

- Costo directo: se refiere al costo asociado a la implementación de la tecnología seleccionada, como equipos necesarios, visitas al sitio, expertos involucrados, materiales, etc.
- Costo de operación: es el costo necesario para mantener funcionando la tecnología seleccionada, así como costos de control, análisis y muestreo del sitio contaminado.
- Costo de mantenimiento: es el costo asociado a las acciones necesarias para que la tecnología funcione de forma óptima.

Del mismo modo cada tecnología en el proceso de remediación, genera subproductos, los cuales deben ser dispuestos de forma apropiada, para evitar contaminar el ambiente y el proceso resulte contraproducente.

Finalmente, en este trabajo, se considerarán los casos de éxito y las condiciones en las que las tecnologías biológicas hayan sido aplicadas exitosamente.

2.6 Análisis multicriterio

La toma de decisiones es el estudio de la identificación y selección de alternativas para encontrar la mejor solución a un determinado problema con base en diferentes factores (San Cristóbal, 2012).

La remediación de suelos contaminados con hidrocarburos es una situación compleja y multidimensional, porque se encuentran involucrados diversos actores, factores económicos, técnicos, ambientales, jurídicos y sociales (Figura 9), por lo que plantear cuál es la solución óptima no es una decisión sencilla y no puede estar fundamentada únicamente con base en el costo y tiempo de remediación.

Para abordar un problema con estas características, el análisis multicriterio es una herramienta adecuada, ya que pretende integrar las distintas dimensiones que intervienen en dicho problema en un solo marco de análisis para proporcionar una visión integral (Falconí y Burbano, 2004).

Algunas de las características de los problemas de decisión se describen a continuación (Keith, 1991):

- Múltiples objetivos: se requiere alcanzar varios objetivos al mismo tiempo, tales como minimizar los riesgos a la salud, maximizar los beneficios, evitar problemas legales, entre otros.
- Efectos a largo plazo: las consecuencias de muchas decisiones en ocasiones se observa en largos periodos de tiempo.

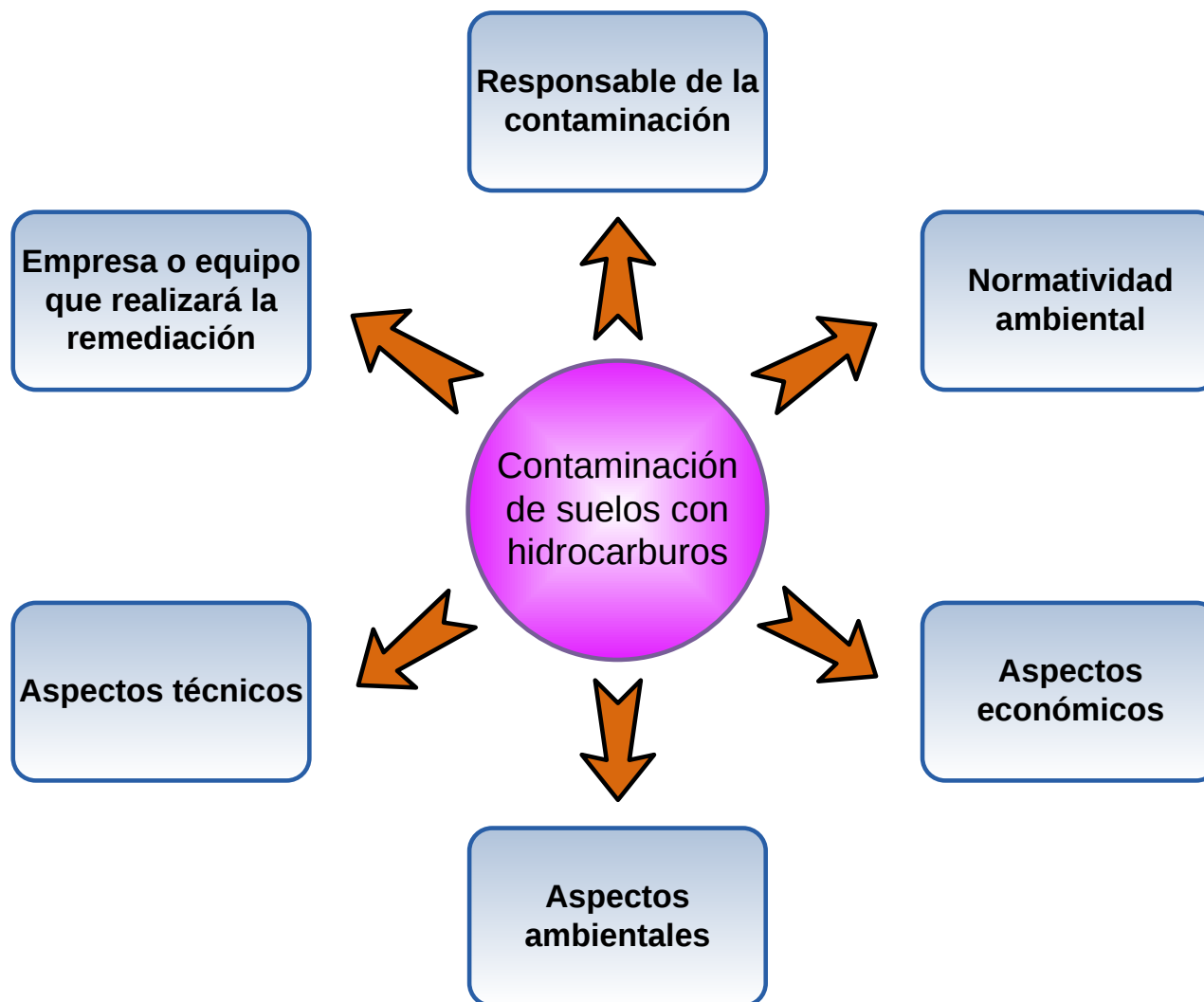


Figura 9.- Actores y factores involucrados en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos

- Riesgos: Cada alternativa implica riesgos que tienen que ver con cambios en las prioridades de la sociedad, fenómenos naturales, falta de información, etc.

Se requiere definir los conceptos que se encuentran involucrados en el proceso de análisis de decisiones, los cuales son (Keith, 1991):

- Alternativas: son las acciones que se pueden realizar para alcanzar las metas.
- Criterios: son las medidas con las cuales se realizan las comparaciones entre las alternativas, también se les llama atributos o variables, por lo que los problemas en los que se encuentran involucrados varios criterios también se les conoce como multicriterio o multivariable.
- Consecuencias: son el resultado de proceder con determinada alternativa, la cual puede tener una o más consecuencias.

El método que se puede seguir en el proceso de análisis de decisiones es el siguiente (Keith, 1991):

1. Síntesis

Estructurar el problema. Se requiere integrar todas las variables involucradas en el problema para sintetizarlo si es posible de forma visual (diagrama o esquema).

2. Análisis

Valoración de los impactos, implica determinar los impactos o consecuencias de cada alternativa. Es deseable determinar cada consecuencia y la probabilidad de que ocurra, por lo que se puede requerir algún modelo matemático; cuando los

modelos no son apropiados, la información necesaria se determina a partir de la experiencia de los especialistas involucrados.

3. Evaluación

Interpretación de los valores. En este paso se crea un modelo para evaluar las alternativas, implica la cuantificación de las posibles consecuencias de cada alternativa en el problema y se establece la preferencia de los criterios.

4. Decisión

Comparación de las alternativas. Efectuados los pasos anteriores, es posible determinar cuál es la alternativa más adecuada para resolver el problema, se pueden utilizar árboles de decisión, matrices o diagramas.

5. Optimización

En este paso se puede realizar un análisis de sensibilidad de acuerdo al modelo empleado, moviendo las variables y analizando los resultados.

2.6.1 Modelos y metodologías del análisis multicriterio

Existen diversos modelos y metodologías que se aplican para realizar un análisis multicriterio, los más usuales son (Munier, 2011): MAUT (Teoría de la Unidad Multiatributo, por sus siglas en inglés), ELECTRE, PROMETHEE, AHP (Jerarquía Analítica de Procesos, por sus siglas en inglés).

Sin embargo, en las últimas décadas las técnicas desarrolladas para abordar un problema se han incrementado con gran rapidez, además la creación de nuevos métodos a partir de la combinación o modificación de los ya existentes es una opción sin límites (Hajkowitz y Higgins, 2008).

Debido a que la metodología que se propone en este trabajo, se basa en la modificación y simplificación del método PROMETHE, éste se describe a continuación (Vergara, 2010):

1. Definir el problema, formular del objetivo y elegir las alternativas y criterios.

Se requiere formular claramente el objetivo que se desea alcanzar, así como el conjunto de alternativas y los criterios bajo los cuáles se evaluarán dichas alternativas.

2. Determinar la información adicional requerida de cada criterio: asignar peso o importancia relativa y la función de preferencia.

Después se genera la información adicional para cada criterio, la cual es la que se encuentra relacionada con la importancia relativa (valor) de cada criterio. Los pesos deben ser positivos y no deben estar en función de las unidades de medida de algún criterio. En esta técnica se utiliza el software Decision Lab, para auxiliar en esta tarea.

3. Generar la matriz alternativas-criterios

Se genera una matriz en la que se hace explícita la evaluación de las alternativas de acuerdo a cada criterio. La evaluación se puede realizar con base en estudios, encuestas, opinión de los expertos, simulaciones, entre otros métodos.

4. Generar los índices de preferencia y flujos de dominancia

Se genera la información necesaria para jerarquizar las alternativas, lo que permite realizar índices de preferencia, los cuales indican cuánto una alternativa se prefiere sobre otra. Los flujos de dominancia señalan el grado en que una alternativa domina sobre las demás.

5. Jerarquización parcial y completa

A partir de intersectar los flujos de dominancia e índices de preferencia para seleccionar la mejor alternativa.

2.6.2 Método matricial

Este método se basa en el uso de matrices, las cuales pueden definirse como listas de control de dos dimensiones. Este método es de carácter cualitativo y cuantitativo, busca correlacionar los factores involucrados en una situación (Yañez, 2008).

3. PROPUESTA DE LA MATRIZ MULTICRITERIO PARA LA SELECCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS

En este capítulo se describe la matriz de selección de tratamientos biológicos como propuesta metodológica para elegir la opción más adecuada y factible, para remediar suelos contaminados con hidrocarburos, de acuerdo a los elementos involucrados: tipo de suelo, tipo y concentración de contaminante, características de cada tecnología.

Es decir, la remediación de suelos se aborda como un problema de decisión, para el cual existen diversas alternativas de solución.

3.1 Obtención de datos

Para obtener los datos que permitan estructurar los criterios de la matriz se consultaron artículos científicos, los cuales cumplen con las siguientes características:

- La fecha de publicación debe ser máximo de 10 años de antigüedad (2004 - 2014).
- Las revistas en las cuales se realizaron las publicaciones deben ser de renombre internacional.
- Debido a que el presente trabajo se encuentra acotado a suelos contaminados con hidrocarburos en México, el contenido de los artículos seleccionados sólo debe abordar casos de estudio del país.
- La consulta de los artículos científicos debe ser asequible, tanto en medios electrónicos como la versión impresa.

Con base en los criterios anteriores los artículos revisados son los siguientes (Tabla 12):

Tabla 12.- Artículos científicos utilizados como referencia

Año de publicación	Título	Revista	Observaciones
2004	Evaluación de funcionamiento de un tambor rotatorio aplicado a la biorremediación de un suelo contaminado con hidrocarburos	Interciencia	Proporciona datos técnicos sobre el impacto del diseño de un biorreactor rotatorio en la eficiencia de remoción de hidrocarburos del suelo.
2004	Estudio de la biodegradación aerobia de un hidrocarburo en un suelo conformado artificialmente	Tesis	Se evalúa la factibilidad de biodegradar hidrocarburos en un suelo conformado artificialmente.
2005	Mecanismos de Fitorremediación de suelos contaminados con moléculas orgánicas xenobióticas	Revista Internacional de Contaminación Ambiental	Se describe el mecanismo que sigue el proceso de fitorremediación, así como las interacciones que existen entre la planta microorganismo y el suelo contaminado.
2005	Atenuación natural en suelos contaminados con hidrocarburos	Ingeniería. Investigación y tecnología	Proporciona parámetros involucrados en el proceso de atenuación natural del suelo contaminado con hidrocarburos poliaromáticos (HAP)
2006	Proceso de biorremediación de suelos y agua contaminados por hidrocarburos del petróleo y otros compuestos orgánicos	Revista Latinoamericana de Microbiología	Se describen 3 casos de estudio de biorremediación de suelos: 1) Suelos contaminados con hidrocarburos remediados por la tecnología de biopilas 2) Fitorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos del petróleo 3) Reactores de suelos activados para biorrestauración de suelos contaminados con hidrocarburos
2006	Rehabilitación de suelo contaminado con hidrocarburos mediante la aplicación de lodos.	AIDIS	Se utilizaron lodos biológicos para degradar hidrocarburos presentes en suelo contaminado por una refinería en Tamaulipas, se observó que dichos lodos son eficientes en la remoción de esos contaminantes, se agregó un tensoactivo para lograr la adsorción de los hidrocarburos.

Año de publicación	Título	Revista	Observaciones
2006	Variación de la eficiencia de la biorrestauración con pastos, a diferentes profundidades de la rizósfera, para suelos contaminados con diesel.	AIDIS	Se utilizó pasto para remediar un suelo contaminado con diesel (fitorremediación), se observó que la eficiencia de esta tecnología está en función de la concentración del contaminante, profundidad de las raíces y tipo de suelo.
2006	Cambio en las propiedades físicas de un suelo contaminado con hidrocarburos debido a la aplicación de una tecnología de remediación.	AIDIS	En este trabajo se evalúa la técnica de bioventeo como tratamiento para un suelo contaminado con gasolinas, se observa que para suelos arcillosos dicha tecnología no es recomendable.
2007	Contaminación de manglares por hidrocarburos y estrategias de biorremediación, fitorremediación y restauración.	Revista Internacional de Contaminación Ambiental	En este trabajo se expone que la fitorremediación para remediar ecosistemas de manglares, se encuentra en escala piloto y no se ha llevado a la práctica, describe el tipo de suelo de estos ecosistemas.
2008	Cometabolismo en la biodegradación de hidrocarburos	Revista Mexicana de Ingeniería Química	Brinda parámetros técnicos sobre el cometabolismo microbiano para la remoción del suelo del compuesto metil-terbutil-eter (MTBE) el cual es un componente de la gasolina.
2010	Aprovechamiento del estiércol vacuno para la biorremediación ex situ de suelos contaminados por diésel en México	Información Técnica Económica Agraria	Proporciona datos acerca de nutrientes, la importancia de la concentración inicial de los HTP, en la remoción de los mismos utilizando biopilas.
2010	Efectos de rizosfera, microorganismos y fertilización en la biorremediación y fitorremediación de suelos con petróleos crudo nuevo e intemperizado.	Universidad y ciencia	Presenta los resultados de remediar suelo contaminado con petróleo crudo utilizando la técnica de fitorremediación, en conjunto con bioaumentación, observando que estas técnicas en conjunto muestran resultados muy favorables.
2010	Filamentous Fungi Remove weathered hydrocarbons from polluted soil of tropical México	Revista Internacional de Contaminación Ambiental	Se utilizó bioaumentación como técnica para remediar suelos contaminados con HTP en Tabasco, se observa que la ausencia de microbiota nativa adaptada reduce el metabolismo fúngico.

Año de publicación	Título	Revista	Observaciones
2011	Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos empleando lodos residuales como fuente alterna de nutrientes.	Revista Internacional de Contaminación Ambiental	Se utilizó lodos biológicos para remediar un sitio contaminado con diesel, aceite y grasas, se observó que dicha tecnología es eficiente y se cumple la normatividad en cuanto a concentración de contaminantes.
2011	Biorremediación de un suelo contaminado con petróleo mediante el empleo de bagazo de caña con diferentes tamaños de partícula.	Multiciencias	Se realizaron múltiples y diversos experimentos, para determinar el tamaño de partícula idóneo de los agentes de volumen, en el proceso de biorremediación, se determinó que dicho proceso es más eficiente cuando el tamaño de partícula es mayor.
2011	Uso de cachaza y bagazo de caña de azúcar en la remoción de hidrocarburos en suelo contaminado.	Revista Internacional de Contaminación Ambiental	Este trabajo muestra que el bagazo de caña de azúcar y la cachaza aportan nutrientes al suelo, en un proceso similar al de bioaumentación.
2012	Tres dosis inoculantes con <i>Proteus sp</i> en la biodegradación de petróleo crudo	Revista Internacional de Contaminación Ambiental	Se evaluó la técnica de bioaumentación para remediar un suelo arcillo-limoso contaminado con petróleo crudo tipo Istmo, dicha tecnología presenta 80 % de remoción de hidrocarburos totales de petróleo.
2014	Determinación del perfil de benceno y de hidrocarburos de fracción ligera en el suelo del pasivo ambiental de la ex-refinería "18 de marzo", ciudad de México	Revista Internacional de Contaminación Ambiental	Proporciona valores de remoción de benceno en la fracción ligera de hidrocarburos, al aplicar bioaspersión y extracción de vapores.
2014	Entrevista a especialistas	Anexo III del presente trabajo	Obtención de una panorama real de cómo se realiza el proceso de remediación del suelo, con los procesos administrativos y normativos que conlleva; así como del cálculo de costos de cada tratamiento.

3.2 Metodología de elaboración

1. Definición del problema, alternativas y criterios

El problema es remediar el suelo contaminado con hidrocarburos, las alternativas que se proponen son los tratamientos biológicos y con base en la información recopilada se realizó la selección de los criterios.

Alternativas:

- Biopilas
- Biorreactores
- Biolabranza
- Bioventeo
- Bioestimulación
- Bioaugmentación
- Fitorremediación

Criterios:

En el proceso de biorremediación intervienen las siguientes variables:

1. Tipo y concentración de contaminante
2. Tipo de suelo, extensión y profundidad del área afectada
3. Tipo y costo de la tecnología
4. Tiempo y nivel de remediación requerido

Cada variable tiene criterios que intervienen en la misma (Figura 10).

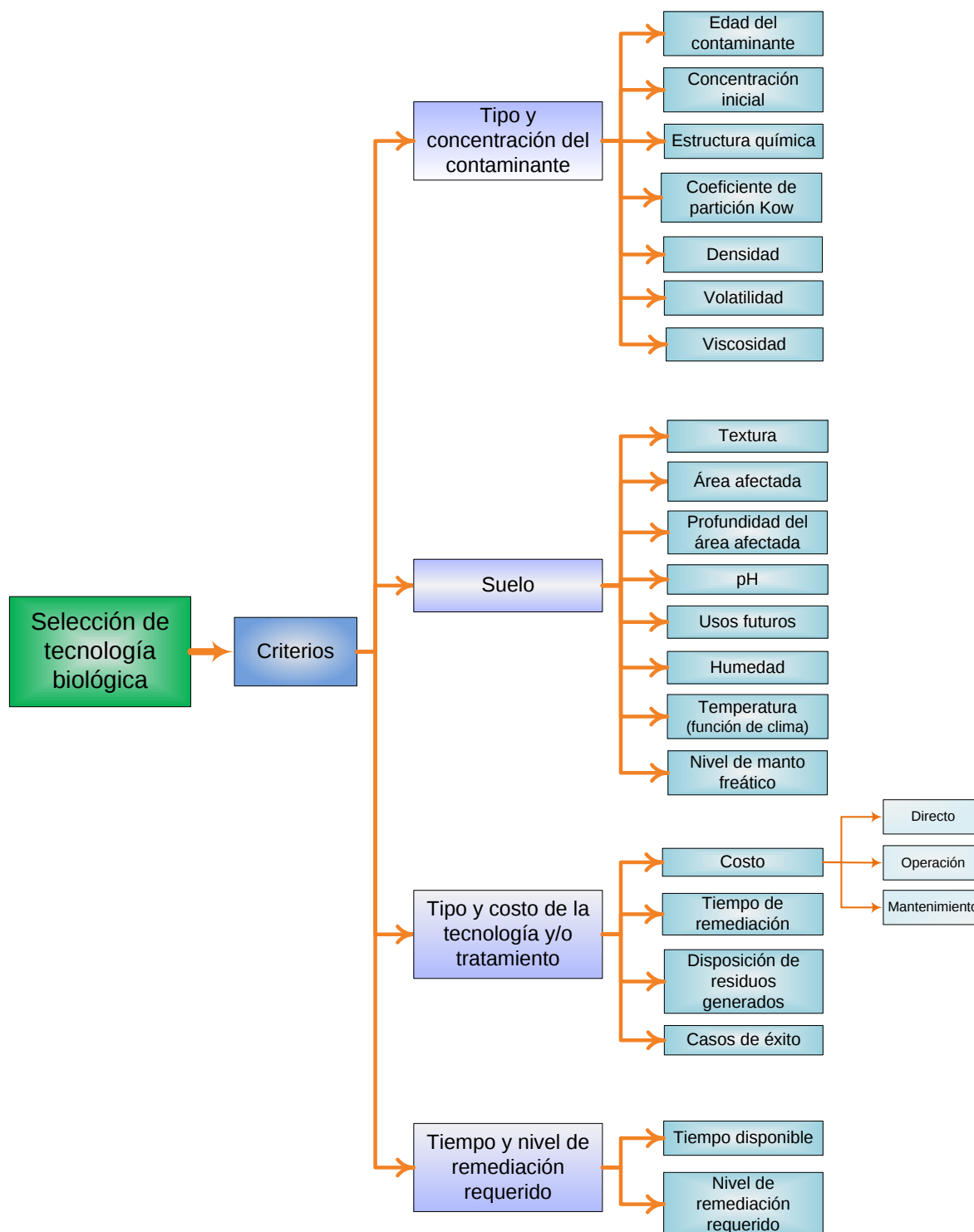


Figura 10.- Criterios considerados

En primer instancia, se estableció un criterio que no dependen de las variables mostradas en la Figura 10, pero que se requiere para tomar la decisión sobre la alternativa más viable:

- Capital disponible: En ocasiones las empresas destinan algún porcentaje de su capital para la atención de emergencias ambientales, o simplemente no se puede destinar más dinero del que se tiene disponible, para la remediación de los sitios contaminados, sin embargo, no se puede poner en función de este parámetro la limpieza del suelo, por lo que sólo se considera este criterio como una variable de elección final, en el caso de que dos o más tecnologías se aprecien factibles.

Tiempo y nivel de remediación requerido

Adicionalmente a los criterios abordados, se proponen dos variables más, que no se califican en la matriz, pero que se requieren para dimensionar de forma integral el proceso:

- Tiempo disponible: este factor es independiente del tiempo que cada tecnología requiere para actuar, se refiere al tiempo que se tiene disponible para realizar la remediación del sitio, lo establece la normatividad, el generador de la contaminación o los factores sociales.
- Nivel de remediación requerido: de acuerdo a los usos futuros que se le pretenda dar al suelo, se establecerá con base en la normatividad el nivel de limpieza requerido.

2. Asignación de valores a cada criterio

❖ Análisis cualitativo

Previamente a la asignación de valores a cada criterio, se efectuó un análisis cualitativo, el cual permite visualizar el comportamiento de los factores involucrados (tipo de suelo, contaminante y tratamiento biológico), y relacionarlos mediante matrices.

Dicho análisis se realizó con base en la información recopilada y previamente presentada. La nomenclatura que utiliza es la siguiente:

R: recomendable; **PR:** poco recomendable y **NR:** no recomendable

G: gran extensión; **M:** mediana extensión; **P:** pequeña extensión

La matriz que se muestra a continuación, relaciona las alternativas con la textura del suelo (Tabla 13):

Tabla 13.- Matriz Tecnología – Tipo de suelo

Tecnología	Tipo de suelo		
	Arcilloso	Limoso	Arenoso
Biopilas	NR	R	PR
Biorreactores	R	PR	PR
Biolabranza	PR	R	PR
Bioventeo	NR	PR	R
Bioestimulación	R	R	PR
Bioaumentación	R	R	PR
Fitorremediación	PR	R	PR

La siguiente matriz (Tabla 14), relaciona las alternativas que se proponen con el tipo de contaminantes (los cuales se englobaron en dos grandes grupos, con base en sus características):

Tabla 14.- Matriz Tecnología - Contaminante

Tecnología	Contaminante		
	Fracción pesada	Fracción media	Fracción ligera
Biopilas	R	R	R
Biorreactores	R	R	R
Biolabranza	R	R	R
Bioventeo	R	R	R
Bioestimulación	R	R	R
Bioaumentación	R	R	R
Fitorremediación	NR	R	R

De acuerdo a las características de cada tipo de suelo se realiza un análisis del comportamiento que presentarían los contaminantes en caso de derramarse, en términos de área (Tabla 15):

Tabla 15.- Matriz Tipo de suelo – Contaminante (Área)

Tipo de suelo	Contaminante		
	Fracción pesada	Fracción media	Fracción ligera
Arcilloso	P	M	G
Limoso	P	M	G
Arenoso	M	M	M

En términos de volumen (profundidad), para dimensionar si los contaminantes pueden llegar a aguas subterráneas (Tabla 16):

Tabla 16.- Matriz Tipo de suelo – Contaminante (Profundidad)

Tipo de suelo	Contaminante		
	Fracción pesada	Fracción media	Fracción ligera
Arcilloso	P	P	P
Limoso	M	M	M
Arenoso	M	G	G

❖ Análisis cuantitativo

Una vez efectuado el análisis cualitativo, se procedió a ponderar los criterios (análisis cuantitativo), de acuerdo a las relaciones observadas entre las alternativas y los criterios, lo que permitió establecer una escala de evaluación.

Para facilitar la evaluación, se estableció la siguiente escala general de ponderación:

Tabla 17.- Significado de los valores

Valor	Significado
4	La tecnología es la más factible, de acuerdo con el criterio que se evalúe
3	La tecnología es factible, de acuerdo con el criterio que se evalúe
2	La tecnología es poco factible, de acuerdo con el criterio que se evalúe
1	La La tecnología no es factible, de acuerdo con el criterio que se evalúe

De acuerdo a los criterios que se eligieron, la escala de valoración se realiza de la siguiente forma:

- Tomar como base las características del sitio, antes de la contaminación.
- Tener en cuenta el tiempo disponible y el nivel de remediación requerido para construir la escala de evaluación.
- Calificar cada criterio, de acuerdo con la Tabla 18 a la Tabla 29.
- Tomar en cuenta las siguientes generalidades para cada tecnología (excepto fitorremediación):

Criterio	Intervalo
pH	6-8
Temperatura	5-40 °C
Humedad	20-80 %

Tipo y concentración del contaminante

A continuación se muestra la escala de valoración, para cada criterio:

- Concentración inicial:

Tabla 18.- Escala de ponderación para la concentración inicial

Valor	Significado
4	La tecnología es muy eficiente con valores iniciales de concentración de contaminante en el sitio contaminado (tomando como rango 6,000-50,000 ppm)
3	La tecnología es eficiente con valores iniciales de concentración de contaminante en el sitio contaminado (tomando como rango 6,000-50,000 ppm)
2	La tecnología es poco eficiente con valores iniciales de concentración de contaminante en el sitio contaminado (tomando como rango 6,000-50,000 ppm)
1	La tecnología no es eficiente con valores iniciales de concentración de contaminante en el sitio contaminado (tomando como rango 6,000-50,000 ppm)

- Edad del contaminante, estructura química, viscosidad, solubilidad, densidad y volatilidad:

Tabla 19.- Escala de ponderación para la edad del contaminante, estructura química, viscosidad, solubilidad, densidad y volatilidad

Valor	Significado
4	La tecnología es la más factible, según el tipo de contaminante presente en el sitio
3	La tecnología es factible, según el tipo de contaminante presente en el sitio
2	La tecnología es poco factible, según el tipo de contaminante presente en el sitio
1	La tecnología no es factible, según el tipo de contaminante presente en el sitio

Tipo de suelo, extensión y profundidad del área afectada

- Textura:

Tabla 20.- Escala de ponderación para la textura del suelo

Valor	Significado
4	La tecnología es la más factible, según la textura del sitio
3	La tecnología es factible, según la textura del sitio
2	La tecnología es poco factible, según la textura del sitio
1	La tecnología no es factible, según la textura del sitio

- pH:

Tabla 21.- Escala de ponderación para el pH

Valor	Significado
4	La tecnología permite que el suelo contaminado tenga el valor de pH de zonas aledañas, es eficiente con el valor presente en el sitio.
3	La tecnología permite que el suelo contaminado tenga el valor de pH de zonas aledañas, es poco eficiente con el valor presente en el sitio.
2	La tecnología permite que el suelo contaminado tenga el valor de pH de zonas aledañas, no es eficiente con el valor presente en el sitio.
1	La tecnología no permite que el suelo contaminado tenga el valor de pH de zonas aledañas y no es eficiente con el valor presente en el sitio.

- Usos futuros:

Tabla 22.- Escala de ponderación para los usos futuros del suelo

Valor	Significado
4	La tecnología permite llegar a un valor inferior al límite máximo permisible de concentración de contaminante estipulado en la normatividad, de acuerdo al uso de suelo que se le pretenda dar.
3	La tecnología permite llegar al límite máximo permisible de concentración de contaminante estipulado en la normatividad, de acuerdo al uso de suelo que se le pretenda dar.
2	La tecnología permite llegar al límite máximo permisible de concentración de contaminante estipulado en la normatividad, de acuerdo al uso de suelo que se le pretenda dar.
1	La tecnología no permite llegar al límite máximo permisible de concentración de contaminante estipulado en la normatividad, de acuerdo al uso de suelo que se le pretenda dar.

- Temperatura:

Tabla 23.- Escala de ponderación para la temperatura

Valor	Significado
4	La tecnología es la más eficiente a la temperatura del sitio
3	La tecnología es eficiente a la temperatura del sitio
2	La tecnología es poco eficiente a la temperatura del sitio
1	La tecnología no es eficiente a la temperatura del sitio

- Humedad:

Tabla 24.- Escala de ponderación para la humedad

Valor	Significado
4	La tecnología es la más eficiente en las condiciones de humedad del sitio
3	La tecnología es eficiente en las condiciones de humedad del sitio
2	La tecnología es poco eficiente en las condiciones de humedad del sitio
1	La tecnología no es eficiente en las condiciones de humedad del sitio

- Extensión y volumen contaminado de suelo:

Tabla 25.- Escala de ponderación para la extensión y volumen contaminado de suelo

Valor	Significado
4	La tecnología es la más factible, de acuerdo a la dispersión y adsorción del contaminante
3	La tecnología es factible, de acuerdo a la dispersión y adsorción del contaminante
2	La tecnología es poco factible, de acuerdo a la dispersión y adsorción del contaminante
1	La tecnología no es factible, de acuerdo a la dispersión y adsorción del contaminante

Tipo y costo de la tecnología y/o tratamiento

- Costo directo, de operación y mantenimiento:

Tabla 26.- Escala de ponderación para los costos directos, de operación y mantenimiento

Valor	Significado
4	El costo es menor al capital disponible para la remediación
3	El costo es igual al capital disponible para la remediación
2	El costo es mayor al capital disponible para la remediación
1	El costo es mucho mayor al capital disponible para la remediación

- Tiempo de remediación:

Tabla 27.- Escala de ponderación para el tiempo de remediación

Valor	Significado
4	El tiempo de remediación de la tecnología es menor al tiempo disponible
3	El tiempo de remediación de la tecnología es igual al tiempo disponible
2	El tiempo de remediación de la tecnología es mayor al tiempo disponible sitio
1	El tiempo de remediación de la tecnología es mucho mayor al tiempo disponible

- Disposición de residuos generados durante el proceso de remediación:

Tabla 28.- Escala de ponderación para la disposición de residuos generados

Valor	Significado
4	La tecnología no genera residuos
3	La tecnología genera residuos de fácil disposición
2	La tecnología genera residuos de difícil disposición
1	La tecnología genera residuos muy difíciles de disponer

- Casos de éxito:

Tabla 29.- Escala de ponderación para los casos de éxito

Valor	Significado
4	Existen al menos 5 casos documentados en los últimos 10 años, en los cuales se avale la efectividad de la tecnología
3	Existen al menos 3 casos documentados en los últimos 10 años, en los cuales se avale la efectividad de la tecnología
2	Existen al menos 1 caso documentado en los últimos 10 años, en el cual se avale la efectividad de la tecnología
1	No existen casos documentados

3. Generación de la matriz multicriterio

De acuerdo al método PROMETHEE, en este punto se genera una matriz de alternativas-criterios, en el presente trabajo se nombra matriz multicriterio.

A partir de la integración del análisis cualitativo y cuantitativo, se realizó la construcción de la matriz multicriterio final.

Para utilizar, esta metodología se requiere conocer las características generales del sitio contaminado y establecer el capital y tiempo disponible (factores independientes a costo y tiempo que requiere la tecnología).

4. Evaluación

La evaluación se realiza a partir de la asignación de valores a cada alternativa (tecnología) de acuerdo a cada criterio de acorde con las variables que intervienen en el proceso de biorremediación.

5. Selección de la alternativa más viable

Al realizar la suma entre los valores obtenidos por columna se obtiene un valor para el criterio, lo que permite determinar cuáles son los criterios críticos del proceso.

La suma por fila cuantifica la viabilidad de cada alternativa, lo que permite decidir cuál es la más viable, considerando los criterios involucrados, tales como las características del sitio contaminado y los contaminantes, la disposición de los subproductos generados, entre otros.

3.3 Matriz multicriterio para la selección de tratamientos biológicos

Capital disponible: _____

Tiempo disponible: _____

Alternativas (Tecnología)	Criterios	Tipo y concentración del contaminante						Tipo de suelo, extensión y profundidad del área afectada						Tipo y costo de la tecnología y/o tratamiento						SUMA			
		Concentración inicial	Edad del contaminante	Estructura química	Coefficiente de partición K _{OW}	Densidad	Volatilidad	Viscosidad	Textura	pH	Usos futuros	Temperatura	Humedad	Extensión de la contaminación	Profundidad de la contaminación	Nivel de manto freático	Costo directo	Costo de operación	Costo de mantenimiento		Tiempo de remediación	Disposición de subproductos generados	Casos de éxito
Biopilas																							
Biorreactores																							
Biolabranza																							
Bioventeo																							
Bioestimulación																							
Bioaumentación																							
Fitorremediación																							
SUMA																							

Para alimentar la matriz con las evaluaciones alternativa-criterio, se requiere seguir el siguiente procedimiento:

1. Construir las escalas de evaluación, de acuerdo a las características del sitio.
2. Evaluar las tecnologías de acuerdo a cada criterio de acuerdo con las escalas construidas.
3. Seleccionar el tratamiento biológico de mayor puntuación.

Para esta metodología de selección no es necesario un software especializado, el software Excel, incluido en la paquetería de Microsoft Office (o algún equivalente, de acuerdo al sistema operativo), es suficiente para realizar la evaluación.

3.3.1 Ejemplo de evaluación utilizando la matriz multicriterio propuesta

En este apartado se ilustra un caso teórico de contaminación del suelo, del cual se varía la textura de éste, para realizar la evaluación en tres diferentes escenarios y efectuar un análisis global. El caso base es el siguiente:

Hace 2 días en el estado de Sinaloa (temperatura media anual de 22-26°C y humedad de 30%) se contaminaron 20 m³ de suelo con gasolina (fracción ligera), el nivel de manto freático es mayor a 3 m de profundidad. Al realizar la caracterización del sitio, se obtuvo que la concentración del contaminante es de 12,000 ppm, el pH del sitio es 8 y el de los suelos aledaños de 6.

En los tres casos, se considera un capital disponible de 40,000 USD en un tiempo máximo de 12 meses, para uso futuro como suelo industrial.

Capital disponible: 30,000 USDTiempo disponible: 12 mesesNivel de remediación: Suelo industrial, 500 mg/kg base seca (500 ppm)

Tabla 30.- Resultado de la evaluación, en un tipo de suelo con mayor porcentaje de arcilla

Alternativas (Tecnología)	Criterios							Tipo y concentración del contaminante							Tipo de suelo, extensión y profundidad del área afectada							Tipo y costo de la tecnología y/o tratamiento										
	Concentración inicial		Edad del contaminante		Estructura química		Coeficiente de partición K _{ow}		Densidad		Volatilidad		Viscosidad		Textura	pH	Usos futuros	Temperatura	Humedad	Extensión de la contaminación		Profundidad de la contaminación		Nivel de manto freático		Costo directo	Costo de operación	Costo de mantenimiento	Tiempo de remediación	Disposición de subproductos generados		Casos de éxito
Biopilas	2	3	4	3	4	4	4	4	1	4	4	2	3	4	4	3	3	2	3	4	3	2	3	4	3	2	3	4	3	2	66	
Biorreactores	4	4	4	3	3	3	4	4	4	3	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	72	
Biolabranza	2	3	4	3	3	4	4	2	4	4	2	3	4	4	3	3	3	3	3	4	3	2	3	4	3	2	3	4	3	2	67	
Bioventeo	3	3	4	3	4	3	3	1	3	4	3	3	3	3	2	3	2	1	4	3	2	3	4	3	2	3	4	3	2	60		
Bioestimulación	3	3	3	3	4	3	4	3	3	4	4	4	4	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	69	
Bioaumentación	3	3	3	3	4	3	4	3	3	4	4	4	4	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	69	
Fitorremediación	2	2	4	3	3	3	3	2	3	4	3	3	3	3	3	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	1	53		
SUMA	19	21	26	21	25	23	26	16	23	28	22	24	23	23	20	21	18	18	22	20	17											

Capital disponible: 30,000 USDTiempo disponible: 12 mesesNivel de remediación: Suelo industrial, 500 mg/kg base seca (500 ppm)

Tabla 31.- Resultado de la evaluación, en un tipo de suelo con mayor porcentaje de limo

Alternativas (Tecnología)	Criterios							Tipo y concentración del contaminante							Tipo de suelo, extensión y profundidad del área afectada							Tipo y costo de la tecnología y/o tratamiento																				
	Concentración inicial		Edad del contaminante		Estructura química		Coeficiente de partición K _{OW}		Densidad		Volatilidad		Viscosidad		Textura		pH		Usos futuros		Temperatura		Humedad		Extensión de la contaminación		Profundidad de la contaminación		Nivel de manto freático		Costo directo		Costo de operación		Costo de mantenimiento		Tiempo de remediación		Disposición de subproductos generados		Casos de éxito	
Biopilas	4	4	4	4	4	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	70											
Biorreactores	3	3	4	4	3	2	4	2	3	4	3	2	3	2	3	2	3	2	2	2	3	2	2	2	3	2	2	2	2	2	58											
Biolabranza	4	4	4	4	3	3	3	4	3	4	3	3	3	3	3	3	2	3	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	69												
Bioventeo	3	3	4	3	4	3	4	2	3	4	3	3	4	3	3	4	3	3	3	4	3	4	3	2	68																	
Bioestimulación	4	4	4	3	4	3	4	2	4	4	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	73												
Bioaumentación	4	4	4	3	4	3	4	2	3	4	4	4	4	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	73												
Fitorremediación	4	4	4	2	4	3	3	4	3	3	3	3	2	3	4	3	3	3	1	1	2	62																				
SUMA	26	26	28	23	26	20	25	19	22	27	23	22	23	20	24	22	19	20	22	18	18																					

Capital disponible: 30,000 USDTiempo disponible: 12 mesesNivel de remediación: Suelo industrial, 500 mg/kg base seca (500 ppm)

Tabla 32.- Resultado de la evaluación, en un tipo de suelo con mayor porcentaje de arena

Alternativas (Tecnología)	Criterios							Tipo y concentración del contaminante							Tipo de suelo, extensión y profundidad del área afectada							Tipo y costo de la tecnología y/o tratamiento							
	Concentración inicial	Edad del contaminante	Estructura química		Coeficiente de partición K _{OW}		Densidad	Volatilidad	Viscosidad	Textura	pH	Usos futuros	Temperatura	Humedad	Extensión de la contaminación	Profundidad de la contaminación	Nivel de manto freático	Costo directo	Costo de operación	Costo de mantenimiento	Tiempo de remediación	Disposición de subproductos generados	Casos de éxito	SUMA					
Biopilas	3	2	3	3	2	3	3	3	3	3	2	3	3	2	3	2	2	3	3	2	4	3	2	56					
Biorreactores	3	2	4	4	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	2	3	3	2	3	3	2	1	58						
Biolabranza	3	2	3	4	2	3	3	3	3	3	2	3	2	3	3	2	3	3	2	4	3	2	58						
Bioventeo	3	3	4	4	3	3	3	4	3	4	3	3	4	3	2	3	3	3	3	4	3	3	68						
Bioestimulación	2	3	3	2	3	2	3	2	4	3	4	3	4	3	3	3	2	2	2	3	3	1	57						
Bioaumentación	2	3	3	2	3	2	3	2	3	3	4	3	4	3	3	3	2	2	2	3	3	1	56						
Fitorremediación	3	2	3	3	2	2	2	1	3	2	3	2	2	3	3	1	3	3	1	1	1	1	46						
SUMA	19	17	23	22	18	18	20	17	22	19	23	18	23	19	18	17	18	17	22	18	11								

3.3.2 Análisis de resultados

A partir de un mismo caso base, se varió el tipo de suelo, para obtener una visión global de cómo funciona la matriz que se propone. Para clasificar el tipo de suelo se consideran los tipos arcilloso, limoso y arenoso, por el porcentaje dominante de partículas presentes.

Para realizar la evaluación de cada criterio en función de cada alternativa, es necesario tener en cuenta el comportamiento del contaminante, en cada sitio de acuerdo al tipo de suelo y cómo influenciará ello en la tecnología a aplicar.

De acuerdo a los resultados obtenidos por la matriz de selección de tratamientos biológicos, el tratamiento más adecuado para el suelo tipo arcilloso es el uso de biorreactores; para el suelo limoso la bioestimulación o bioaumentación y para el suelo arenoso el bioventeo.

En el caso del suelo arcilloso, debido a la estructuración que se presenta, el uso de biorreactores es lo más factible, puesto que se pueden controlar las condiciones de forma óptima, en la literatura se han reportado varios casos exitosos de remediación de este tipo de suelo con el uso de la mencionada tecnología. El criterio crítico para este escenario es la textura del suelo.

Debido a la fertilidad del suelo limoso lo más factible es el uso de bioestimulación o bioaumentación, este tipo de suelo presenta propiedades estructurales más equilibradas que los otros dos tipos de suelo que se consideran. Los criterios críticos son la disposición de los subproductos generados y los casos de éxito, ya que de estos últimos no se encontraron muchos casos documentados.

En el caso del suelo arenoso, se obtuvo de la matriz que el bioventeo es el tratamiento más adecuado, lo cual se justifica con la estructuración de este tipo de suelo y el criterio crítico son los casos de éxito, ya que no se encontraron muchos casos documentados.

4. CONCLUSIONES

Comúnmente en el proceso de selección de alguna tecnología de remediación sólo se consideran el costo de la misma y el tiempo probable en que se efectuará dicho proceso, la matriz multicriterio propuesta incluye aspectos adicionales como el tipo de suelo, las características del contaminante, la disposición de los subproductos que generan los tratamientos, en el proceso de biorremediación de un sitio contaminado con hidrocarburos.

La matriz multicriterio que se propone como metodología para seleccionar el tratamiento biológico más adecuado, permite visualizar cómo es el proceso de interacción entre los mencionados aspectos y lo transforma a unidades cuantificables. Por lo que ofrece un procedimiento basado en un análisis cualitativo y cuantitativo, que permite evaluar de forma global todos los aspectos involucrados en el proceso de biorremediación.

Esta metodología brinda una visión integrada del proceso de biorremediación, de forma asequible tanto para principiantes en el campo como para los expertos y profesionales que se dedican a ello, en comparación con otras metodologías que utilizan análisis multicriterio de forma muy compleja, además no requiere un software especializado.

Con base en la opinión de expertos en la remediación de suelos contaminados, la metodología propuesta es una herramienta que principalmente brinda apoyo en la evaluación que se realiza en campo, cuando la opción es realizar un proceso de biorremediación.

REFERENCIAS

- Aguilera C. M. y Martínez R. E. (1996). *Relaciones Agua-Suelo-Planta-Atmósfera*. Universidad Autónoma de Chapingo; Chapingo, México.
- CENAPRED. (2012). *Atlas Nacional de Riesgos. Fugas y derrames*. Consultado en enero de 2014. Disponible en: http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=82&Itemid=194
- CONABIO. (2008). *Portal de geoinformación. Sistema Nacional de información sobre biodiversidad*. Consultado en enero de 2014. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- CONAGUA. (2010). *Clima en México*. Consultado en mayo de 2014. Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx/imagenes/mapas/mapmex03.gif>
- Cortés L. A. (2011). *Evaluación del efecto de un nuevo biosurfactante en el proceso de remoción de diesel en el suelo*. Tesis para obtener el grado de Maestría en Ingeniería. UNAM
- Dorronsoro C. (2009). Introducción a la edafología, Departamento de edafología y química agrícola, Unidad docente e investigadora de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Granada, España. Consultado en marzo de 2014. Disponible en: <http://edafologia.ugr.es/introeda/tema04/text.htm#anchor618597>
- El Universal. (03 de febrero de 2014). *Crimen 'ordeña' siete ductos de Pemex al día*. Consultado en mayo de 2014. Disponible en: <http://www.eluniversal.com.mx/finanzas-cartera/2014/crimen--39ordenia-39-siete-ductos-de-pemex-al-dia-984493.html>
- Englert C., Kenzie E. y Dragurt J. (1993). *Bioremediation of Petroleum Products in Soil*. En *Principles and Practices for Petroleum Contaminated Soils*. Calabrese E.(editor), Lewis Publishers, EE. UU. Capítulo 8.
- Falconí F., Burbano R. (2004). *Instrumentos económicos para la gestión ambiental: decisiones monocriteriales versus decisiones multicriteriales*. Revista Iberoamericana de Economía Ecológica. Vol. 1:11-20. Consultado en mayo de 2014. Disponible en: <http://www.redibec.org/archivos/revista/articulo2.pdf>

- FAO. (1999). *Educación ambiental para el trópico de Cochabamba*. Bolivia. Consultado en septiembre de 2014. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/009/ah645s/AH645S00.htm>
- FAO. (2007). *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Un marco conceptual para clasificación, correlación y comunicación internacional*. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma. Segunda edición (2006). Consultado en marzo de 2014. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/a0510s/a0510s00.pdf>
- FRTR. (2014). *Federal Remediation Technologies Roundtable*. Consultado en marzo de 2014. Disponible en: <http://www.frtr.gov/>
- INEGI. (2004). *Guías para la Interpretación de Cartografía. Edafología*. Aguascalientes. Consultado en febrero de 2012. Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/productos/default.aspx?c=265&s=inegi&upc=702825231736&pf=Prod&ef=&f=2&cl=0&tg=0&pg=0&ct=207000000>
- INEGI. (2008). *Características edafológicas, fisiográficas, climáticas e hidrográficas de México*. Consultado en febrero de 2012. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/inegi/spc/doc/INTERNET/1-GEOGRAFIADDEMEXICO/MANUAL_CARAC_EDA_FIS_VS_ENERO_29_2008.pdf
- INEGI. (2014). *Recursos naturales. Climatología*. Consultado en marzo de 2014. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/clima/default.aspx>
- Keith G. A. (1991). *Remedial Technology Selection for Hydrocarbon Contaminated Soils*. En *Hydrocarbon Contaminated Soils*. Calabrese E. (editor), Lewis Publishers,. EE. UU. Vol. 1. Capítulo 45
- Khan Faisal I., Husain Tahir, Hejazi Ramzi. (2004). *An overview and analysis of site remediation technologies*. Journal of Enviromental Management. 71: 95-122. Consultado en marzo de 2014. Disponible en: <http://www.uvm.edu/~gdrusche/Classes/GEOL%20295%20-%20Geomicrobiology/Khan%20et%20al.,%202004%20JEM%20-%20Remediation%20techniques%20overview.pdf>
- LGEEPA. (2014). *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*. DOF.
- LGPGIR. (2013). *Ley General para La Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. DOF.

- Munier R. (2011). *A Strategy for Using Multicriteria Analysis in Decision-Making. A guide for simple and complex Enviromental Projects*. Springer, Valencia.
- NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.
- NOM-138-SEMARNAT/SS-2012, Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y lineamientos para el muestreo en la caracterización y especificaciones para la remediación.
- PEMEX. (2013a). *Productos*. Consultado en marzo de 2013. Disponible en: <http://www.ref.pemex.com/index.cfm?action=content§ionID=18&catID=1082>
- PEMEX. (2013b). *Productos y servicios*. Consultado en febrero de 2014. Disponible en: http://www.pemex.com/ayuda/preguntas_frecuentes/Paginas/productos_y_servicios.aspx#.UvFBofl5NSI
- PEMEX. (2014) *Consulta general*. Consultado en febrero de 2014. Disponible en: http://www.comercialrefinacion.pemex.com/portal/scgli002/controlador?Destino=mexico.jsp&MapaDestino=info_tad
- Planta de asfaltos del Distrito Federal. (n. d.). *Viscosidad Saybolt – Furol en materiales asfálticos*. Consultado en mayo de 2014. Disponible en: http://www.plantadeasfalto.df.gob.mx/wb/pa/viscosidad_saybolt__furol_en_materiales_asfalticos
- PMI. (2013). *Tipos de petróleo crudo*. Consultado en mayo de 2014. Disponible en: <http://www.pmi.com.mx/Paginas/Tipoproducto.aspx?IdSec=14&IdPag=53>
- PROFEPA. (2012). *Informe anual PROFEPA 2012*. Consultado en febrero de 2012. Disponible en: http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/5322/1/iap_2012_260813.pdf
- PROFEPA. (2013). *Glosario*. Consultado en febrero de 2012. Disponible en: http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/v/766/1/mx/glosario.html?num_letra=4&num_letra_siguiente=5
- S. M. T., Martínez L. N. (2010). *Infraestructura Industrial de PEMEX*. En *Atlas regional de impactos derivados de las actividades petroleras en Coatzacoalcos, Veracruz*. Instituto de Geografía (UNAM), Instituto Nacional de Ecología (SEMARNAT), pp. 14-17. Consultado en mayo de 2014. Disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/629.pdf>

-
- San Cristóbal M. J. R. (2012). *Multi-criteria Analysis in the Renewable Energy Industry*. Springer. Londres. Capítulo 2
- Saval S. (1998a). *La reparación del daño. Aspectos técnicos: Remediación y restauración*. En: *La responsabilidad Jurídica en el daño Ambiental*. UNAM - Petróleos Mexicanos. Instituto de Investigaciones Jurídicas. Serie E, 87, 209-235.
- Saval S. (1998b). *Situación actual y perspectivas de la Biorremediación de suelos y acuíferos en México*. Bio Tecnología. Vol. 3, 71-76. Consultado en agosto de 2014. Disponible en: http://www.smbb.com.mx/revista/Revista_1998_2/voces.pdf
- Saval S. (1999). *Éxitos y fracasos de la remediación de suelos en sitios contaminados con hidrocarburos*. Consultado en enero de 2014. Disponible en: http://www.academia.edu/1017281/Exitos_y_fracasos_de_la_remediacion_de_suelos_en_sitios_contaminados_con_hidrocarburos
- Schroeder A. R., Domínguez R. V. y García H. L. (1999). *Potencial de la biorremediación de suelo y agua impactados por petróleo en el trópico mexicano*. Terra, 17 (2), 159-174. Consultado en mayo de 2014. Disponible en: <http://www.chapingo.mx/terra/contenido/17/2/art159-174.pdf>
- Sellers, K. (1999). *Fundamentals of hazardous site remediation*. CRC Press LLC. Estados Unidos de América, pp. 8-10.
- SEMARNAT. (2001). *Elementos a considerar para integrar las bases de política para la prevención de la contaminación del suelo y su remediación*. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental.
- Seóanez M. (1999). *Contaminación del suelo: estudios, tratamiento y gestión*. Madrid. Mundi-Prensa.
- Torres D. K. y Zuluaga M. T. (2009). *Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos*. Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniería Química. Universidad Nacional de Colombia. Consultado en agosto de 2009. Disponible en: http://www.bdigital.unal.edu.co/815/1/32242005_2009.pdf
- Towhid K. O. (2013). *Soils. Principles, Properties and Management*. Department of Soil Science, University of Chittagong. Chittagong, Bangladesh. Ed. Springer, capítulo 1.
-

- Trujillo N. A., Rivera C. M., Lagunes E. L., Palma L. D., Soto S. S., Ramírez V. G. (2012). *Efecto de la restauración de un fluvisol contaminado con petróleo crudo*. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 28 (4), 361-374. Consultado en mayo de 2014. Disponible en: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/rica/article/view/25347/31208>
- Van der Zee F. y Cervantes F. (2009). *Impact and application of electron shuttles on the redox (bio) transformation of contaminants: A review*. Biotechnology Advances. 27: 256-277
- Vergara M. E. (2010). *Pautas para la selección de las técnicas AHP, PROMETHEE Y Ábaco de Régnier modificado*. Tesis para obtener el grado de Maestría en Ingeniería. UNAM
- Volke S. T. y Velasco T. J. (2002). *Tecnologías de Remediación para suelos contaminados*. Instituto Nacional de Ecología (INE). México
- Volke S. T., Velasco T. J. y De la Rosa P. D. (2005). *Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación*. Instituto Nacional de Ecología (INE). México. Consultado en agosto de 2014. Disponible en: http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/descarga.html?cv_pub=459&tipo_fi le=pdf&filename=459
- Yañez V. A (2008). *Nota científica. Impacto ambiental y metodología de análisis*. BIOCYT 1(2), pp. 7-15. FES Iztacala, UNAM.
- Watanabe K, Manefield M., Lee M y Kouzuma A. (2009). *Electron shuttles in biotechnology*. Current Opinion in Biotechnology, 20: 633-641.

Artículos

- Antonio O J., Martínez T. A., Ramos M. R., Sánchez D. F., Jesús M. A., Tenorio L. J., Cuevas D. M. (2011). *Biorremediación de un suelo contaminado con petróleo mediante el empleo de bagazo de caña con diferentes tamaños de partícula*. Multiciencias, 11 (2), 136-145. Consultado en mayo de 2014. Disponible en: <http://132.248.9.34/hevila/Multiciencias/2011/vol11/no2/3.pdf>
- Beltrán V. M., Vaca M. M., Chacalo H. A., Martín H. J. (2006). *Variación de la eficiencia de la biorrestauración con pastos, a diferentes profundidades de la rizósfera, para suelos contaminados con diesel*. AIDIS, 1 (1), spi. Consultado en mayo de 2014. Disponible en: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/14403/13741>

- Corona R. L., Iturbe A. R. (2004). Atenuación natural en suelos contaminados con hidrocarburos. *Ingeniería. Investigación y Tecnología*, 2, 119-126. Consultado en mayo de 2014. Disponible en: <http://www.ejournal.unam.mx/ict/vol0602/ICT06203.pdf>
- Ferrera C.R., Rojas A. N., Poggi V. H., Alarcón A., Cañizares V. R. (2006). *Proceso de biorremediación de suelos y agua contaminados por hidrocarburos del petróleo y otros compuestos orgánicos*. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 48 (2), 179-187. Consultado en mayo de 2014. Disponible en: <http://www.medigraphic.com/pdfs/lamicro/mi-2006/mi062s.pdf>
- García T. R., Ríos L. E., Martínez T. A., Ramos M. F., Cruz S. J., Cuevas D. M. (2011). *Uso de cachaza y bagazo de caña de azúcar en la remoción de hidrocarburos en suelo contaminado*. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 27 (1), 31-39. Consultado en mayo de 2014. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v27n1/v27n1a3.pdf>
- García V. L., Fernández V. G. (2014). *Determinación del perfil de benceno y de hidrocarburos de fracción ligera en el suelo del pasivo ambiental de la ex-refinería "18 de marzo", ciudad de México*. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30 (29), 201-211. Consultado en mayo de 2014. Disponible en: <http://revistas.unam.mx/index.php/rica/article/view/31257>
- García R. M. y Peralta P.M. R.. (2008). *Cometabolismo en la biodegradación de hidrocarburos*. *Revista mexicana de ingeniería química*, 7(1), 1-12. Recuperado en 21 de mayo de 2014, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-27382008000100001&lng=es&tlng=es
- González R. A., Bautista S. G., Iturbe A. R. (2006). *Rehabilitación de suelo contaminado con hidrocarburos mediante la aplicación de lodos*. *AIDIS*, 1 (1), s.p.i. Consultado en mayo de 2014. Disponible en: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/14365/13704>
- Hajkowitz S. y Higgins A. (2008). *A comparison of multiple criteria analysis techniques for water resource management*. *European Journal of Operation Research*. 184, pp. 255-265
- López M. S., Gallegos M. M., Pérez F. L., Gutiérrez R. M. (2005). *Mecanismos de fitorremediación de suelos contaminados con moléculas orgánicas xenobióticas*. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 21 (2), 91-100. Consultado en mayo de 2014. Disponible en:

- http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/rica/congreso_tlaxcala/REVISTA/contaminacion/acervo/vol_21_2/5.pdf
- Maldonado C. E, Rivera C. MC., Izquierdo R. F. y Palma L. DJ. (2010). *Efectos de rizosfera, microorganismos y fertilización en la biorremediación y fitorremediación de suelos con petróleos crudo nuevo e intemperizado*. Universidad y ciencia, 26(2), 121-136. Recuperado el 21 de mayo de 2014, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792010000200001&lng=es&tlng=es
- Manilla P. E., Poggi V. H., Chávez G. B., Esparza G. F., Barrera C. J. (2004). *Evaluación del funcionamiento de un tambor rotatorio aplicado a la biorremediación de un suelo contaminado con hidrocarburos*. Interciencia. 29 (9), spi. Consultado en mayo de 2014. Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442004000900008
- Manzano A. F., Hernández E. Q., Zapata S. A. (2010). *Aprovechamiento del estiércol vacuno para la biorremediación ex situ de suelos contaminados por diésel en México*. Información Técnica Económica Agraria, 106 (3), 197-207. Consultado en mayo de 2014. Disponible en: http://www.aida-itea.org/aida-itea/files/itea/revistas/2010/106-3/197-207 ITEA_106-3.pdf
- Martínez P. A., Pérez L. Ma. E., Pinto E. J., Gurrola N. B., y Osorio R. A. (2011). *Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos empleando lodos residuales como fuente alterna de nutrientes*. Revista internacional de contaminación ambiental, 27(3), 241-252. Recuperado en 21 de mayo de 2014, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992011000300009&lng=es&tlng=es
- Ojeda M. M., Hernández R. M., Martínez V. J., Díaz F. L. y Rivera C. M. (2012). *Tres dosis inoculantes con Proteus sp en la biodegradación de petróleo crudo*. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 28 (4), 323-332. Consultado en mayo de 2014. Disponible en: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/rica/article/view/34204/31205>
- Olguín J. E., Hernández M. E., Sánchez G. G. (2007). *Contaminación de manglares por hidrocarburos y estrategias de biorremediación, fitorremediación y restauración*. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 23 (3), 139-154. Consultado en mayo de 2014. Disponible en: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/rica/article/view/21641/21640>

- Pérez A. B., Martínez C. D., Calixto M. M., Alba J., Rodríguez V. R. (2010). *Filamentous Fungi Remove weathered hydrocarbons from polluted soil of tropical México*. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 26 (3), 193-199. Consultado en mayo de 2014. Disponible en: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/rica/article/view/20456/19395>
- Pérez C. G., Iturbe A. R., Flores S. R. (2006). *Cambio en las propiedades físicas de un suelo contaminado con hidrocarburos debido a la aplicación de una tecnología de remediación*. AIDIS, 1 (1) spi. Consultado en mayo de 2014. Disponible en: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/14399/13737>
- Piña C. M. (2004). *Estudio de la biodegradación aerobia de un hidrocarburo en un suelo conformado artificialmente*. Tesis para obtener el grado académico de Maestra en Ciencias biológicas. Facultad de ciencias, UNAM.

Anexo I. Tipos de suelo en México

Las unidades de suelo existentes en México son (INEGI, 2004):

Acrisol. Su símbolo es *A*, son suelos ubicados en zonas tropicales o templadas lluviosas. Acumulan arcilla en el subsuelo, su color es rojo, amarillo o con manchas rojas, son muy ácidos y pobres en nutrientes. En condiciones naturales tienen vegetación de selva; en México se usan en la agricultura de árboles tropicales como cacao, café o piña.

Andosol. Su símbolo es *T*, son suelos de origen volcánico constituidos principalmente por cenizas, se encuentran ubicados en el centro del país en las Sierras Neovolcánicas. Son de color oscuro y retienen humedad. En condiciones naturales presentan vegetación de bosque o selva.

Arenosol. Su símbolo es *Q*, se localizan en zonas tropicales o templadas muy lluviosas del sureste del país, su composición es más de la mitad arena, son altamente permeables, retienen poco agua y nutrientes, son moderadamente susceptibles a erosión.

Cambisol. Su símbolo es *B*, se localizan en cualquier clima con excepción de zonas áridas. Pueden tener acumulaciones de arcilla, carbonato de calcio, hierro o manganeso. Son de modera a alta susceptibilidad a la erosión.

Castañozem. Su símbolo es *K*, son suelos que se encuentran en zonas semiráridas o de transición a climas más lluviosos. Tienen más de 70 cm de profundidad, son de color rojizo oscuro, presentan una capa rica en materia orgánica y nutrientes, por lo que son muy fértiles. En condiciones naturales tienen vegetación de pastizal y matorrales.

Chernozem. Su símbolo es *C*, son suelos con características similares a los castañozem, con excepción de que presentan color negro y se consideran más fértiles.

Feozem. Su símbolo es *H*, son suelos que se encuentran en cualquier tipo de relieve y clima, salvo regiones tropicales o desérticas. Tiene una capa superficial de color oscuro, rica en materia orgánica y nutrientes. Son el cuarto tipo de suelo más abundante en el país.

Fluvisol. Su símbolo es *J*, se encuentran en cualquier región cercana a lechos de ríos. Presentan capas de arena, piedra y grava.

Gleysol. Su símbolo es *G*, son suelos pantanosos, en la parte donde se saturan con agua presentan colores grises, azules o verdes, regularmente presentan salitre, y en su mayor parte en el país son arcillosos, por lo que son susceptibles a inundaciones.

Histosol. Su símbolo es *O*, se encuentran en pantanos o lechos de lagos, son suelos con alto contenido de materia orgánica, de color negro, ligeros y poseen una gran capacidad para retener la humedad, acumulan salitre. No son susceptibles a erosión.

Litosol. Su símbolo es *I*, son los suelos más abundantes en el país, se ubican en todos los climas y albergan diversos tipos de vegetación. Tienen profundidad de 10 cm, ya que se encuentra limitado por roca, tepetate o caliche endurecido. No tiene subunidades.

Luvisol. Su símbolo es *L*, son suelos que acumulan arcilla, se encuentran en zonas templadas o tropicales lluviosas, son rojos o amarillentos. Son altamente susceptibles a la erosión.

Nitosol. Su símbolo es *N*, son suelos de color rojizo, enriquecidos con arcilla, al menos tienen 150 cm de profundidad, poseen una capa superficial en la cual la materia orgánica está mezclada con los minerales, lo que lo convierte en un suelo muy fértil. Son poco susceptibles a la erosión.

Planosol. Su símbolo es *W*, se encuentran en relieves planos, su profundidad va de los 50 a los 100 cm, se ubican en climas templados y semiáridos. Tiene una capa infértil (menos arcillosa) debajo de la superficial. Son muy susceptibles a la erosión.

Ranker. Su símbolo es *U*, son suelos ubicados en climas templados húmedos o semifríos húmedos, son ácidos y de espesor aproximado de 25 cm, poseen alto contenido en materia orgánica.

Regosol. Su símbolo es *R*, son suelos que no presentan capas muy diferenciadas entre sí, están ubicados en diversos tipos de clima, vegetación y relieve. Son pobres en materia orgánica. En el país ocupan el segundo lugar en extensión.

Rendzina. Su símbolo es *E*, son suelos ubicados en climas semiáridos, tropicales o templados. Poseen una capa superficial rica en materia orgánica y fértil, la cual reposa sobre roca caliza. No tienen subunidades.

Solonchak. Su símbolo es *Z*, son suelos donde se acumula salitre, poseen alto contenido de sales, por lo que su vegetación es halófila (plantas que toleran exceso de sal).

Solonetz. Su símbolo es *S*, son suelos con alto contenido en sales, el subsuelo es arcilloso, su vegetación es escasa, su recuperación es difícil y de alto costo.

Vertisol. Su símbolo es *V*, son suelos ubicados en climas templados y cálidos, poseen alto contenido en arcilla, la cual se expande en húmedo y se colapsa en seco, lo que puede formar grietas en la superficie. Son muy fértiles, tienen baja susceptibilidad a erosión y alto riesgo de salinización.

Xerosol. Su símbolo es *X*, son suelos que se localizan en zonas áridas y semiáridas del centro y norte del país. Son el tercer tipo de suelo más extenso. Poseen una capa superficial con bajo contenido en materia orgánica. Son de baja susceptibilidad a la erosión.

Yermosol. Su símbolo es *Y*, son suelos localizados en zonas áridas, su vegetación es de matorral o pastizal, son muy pobres en materia orgánica.

Las subunidades de suelo en el país son (INEGI, 2004):

Álbico. Las unidades a las que se asocia son: Arenosol, Luvisol y Solonetz. Es de color claro, infértil y se ha perdido la arcilla hacia capas inferiores.

Cálcario. Las unidades a las que se asocia son: Feozem, Fluvisol, Gleysol y Regosol; son suelos ricos en cal y nutrientes.

Cálcico. Las unidades a las que se asocia son: Cambisol, Castañozem, Chernozem, Luvisol, Xerosol y Yermosol. Son suelos ricos en cal.

Cámbico. Son subunidad exclusiva de los Arenosoles, su textura es gruesa.

Crómico. Las unidades a las que se asocia son: Cambisol, Luvisol y Vertisol. Son de color pardo, fertilidad moderada y alta capacidad para proporcionar nutrientes a las plantas.

Dístrico. Las unidades a las que se asocia son: Cambisol, Fluvisol, Histosol, Nitosol, Planosol, Gleysol y Regosol. Son suelos ácidos, ricos en nitrógeno y pobre en otros nutrientes.

Eútrico. Las unidades a las que se asocia son: Cambisol, Fluvisol, Gleysol, Histosol, Nitosol, Planosol, y Regosol. Son suelos más fértiles que los suelos dístricos.

Ferrálico. Las unidades a las que se asocia son: Arenosol y Cambisol. Poseen altas concentraciones de hierro y aluminio, aunque su capacidad de liberar nutrientes es muy baja.

Férrico. Las unidades a las que se asocia son: Acrisol y Luvisol. Son muy ácidos e infértiles, debido a la alta concentración de hierro que poseen.

Gléyico. Las unidades a las que se asocia son: Acrisol, Cambisol, Feozem, Fluvisol, Luvisol, Solonchak y Solonetz. Son suelos con una capa saturada de agua.

Gypsico. Las unidades a las que se asocia son: Xerosol y Yermosol. Son suelos de zonas áridas o semiáridas que poseen una capa de yeso acumulado.

Háplico. Las unidades a las que se asocia son: Castañozem, Chernozem, Feozem, Xerosol y Yermosol.

Húmico. Las unidades a las que se asocia son: Acrisol, Andosol, Cambisol, Gleysol, Nitosol y Planosol. Son suelos con una capa superficial oscura y rica en materia orgánica, la cual también es ácida y pobre en nutrientes.

Lúvico. Las unidades a las que se asocia son: Chernozem, Castañozem, Feozem, Xerosol, Yermosol y Arenosol. Son suelos que acumulan arcilla en el subsuelo.

Mólico. Las unidades a las que se asocia son: Andosol, Gleysol, Planosol, Solonchak y Solonetz. Son suelos fértiles, con una capa rica en materia orgánica.

Ócrico. Es una subunidad exclusiva de los Andosoles. Son pobres en materia orgánica.

Órtico. Las unidades a las que se asocia son: Acrisol, Luvisol, Solonchak y Solonetz.

Pélico. Es una subunidad exclusiva de los Vertisoles. Indican color negro o gris.

Solódico. Es una subunidad exclusiva de los Planosoles. Son suelos con concentraciones altas de sodio.

Takirico. Las unidades a las que se asocia son: Solonchak y Yermosol. Son suelos de superficie arcillosa.

Vértico. Las unidades a las que se asocia son: Cambisol, Gleysol y Luvisol. Son suelos que secos presentan grietas en el subsuelo, su fertilidad es alta a moderada.

Vítrico. Es una subunidad exclusiva de los Andosoles. Indican textura arenosa.

De acuerdo con la FAO (2007) en la Tabla 33 se muestra un resumen de la clasificación de los suelos según su funcionalidad o alguna característica que los determine.

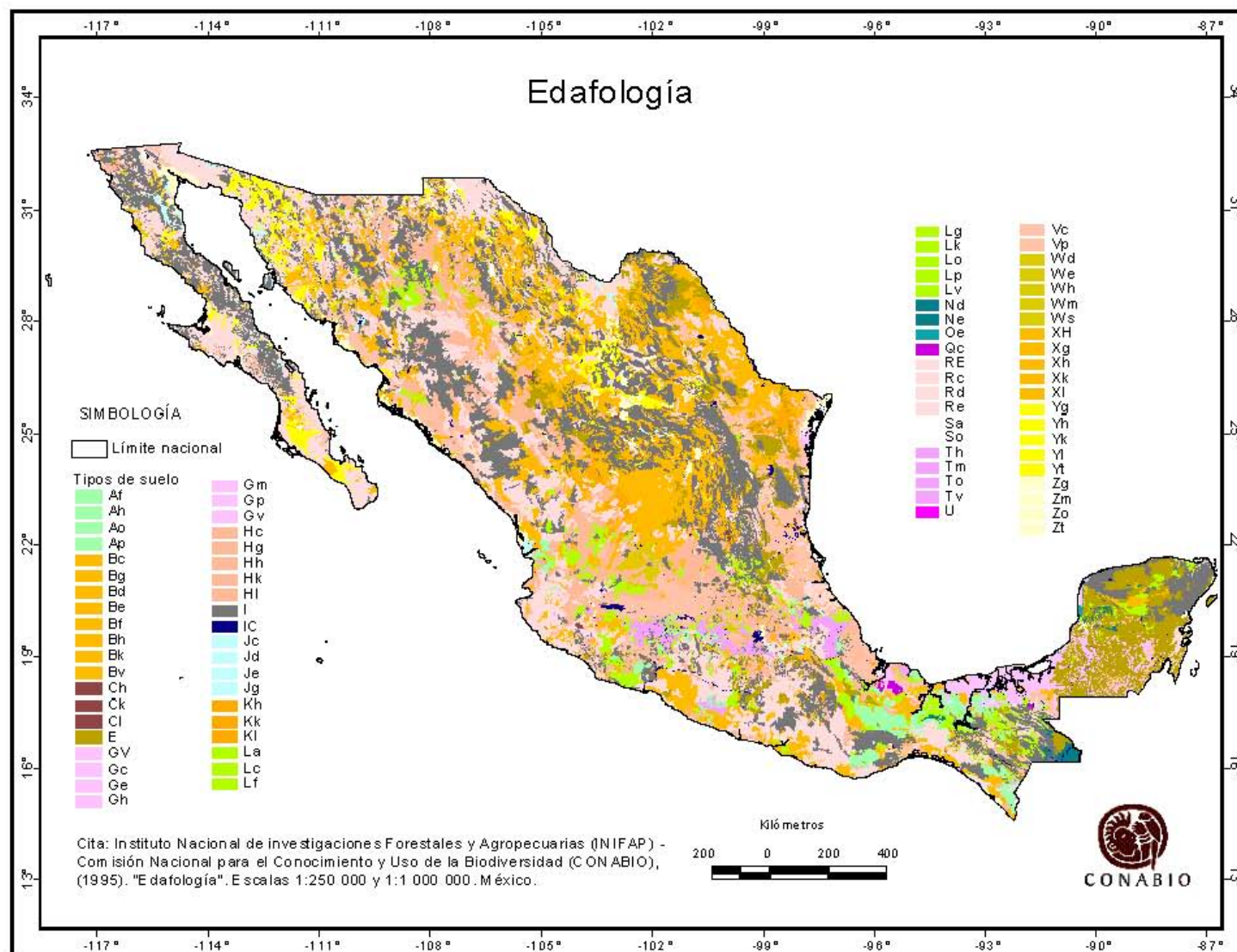
Tabla 33.- Clasificación general del suelo con base en su funcionalidad o alguna característica determinante

Suelos	
Funcionalidad o característica	Nombre
1. Suelos con gruesas capas orgánicas:	Histosoles
2. Suelos con fuerte influencia humana	
Suelos con uso agrícola prolongado e intensivo:	Antrosoles
Suelos que contienen muchos artefactos:	Tecnosoles
3. Suelos con enraizamiento limitado o rocosidad somera	
Suelos afectados por hielo:	Criosoles
Suelos someros o extremadamente gravillosos:	Leptosoles
4. Suelos influenciados por agua	
Condiciones alternadas de saturación-sequía, ricos en arcillas expandibles:	Vertisoles
Planicies de inundación, marismas costeras:	Fluvisoles

Suelos	
Funcionalidad o característica	Nombre
Suelos alcalinos:	Solonetz
Enriquecimiento en sales por evaporación:	Solonchaks
Suelos afectados por agua subterránea:	Gleysols
5. Suelos regulados por la química de Fe/Al	
Alofano o complejos Al-humus:	Andosols
Queluviación y quiluviación:	Podzols
Acumulación de Fe bajo condiciones hidromórficas:	Plintosols
Arcilla de baja actividad, fijación de P, fuertemente estructurado:	Nitisols
Dominancia de caolinita y sesquióxidos:	Ferralsols
6. Suelos con agua estancada	
Discontinuidad textural abrupta:	Planosols
Discontinuidad estructural o moderadamente textural:	Stagnosols
7. Acumulación de materia orgánica, alta saturación con bases	
Típicamente mólico:	Chernozems
Transición a clima más seco:	Kastanozems
Transición a clima más húmedo:	Phaeozems
8. Acumulación de sales menos solubles o sustancias no salinas	
Yeso:	Gipsisols
Sílice:	Durisols
Carbonato de calcio:	Calcisols
9. Suelos con subsuelo enriquecido en arcilla	
Lenguas albelúvicas:	Albeluvisols
Baja saturación con bases, arcillas de alta actividad:	Alisols
Baja saturación con bases, arcillas de baja actividad:	Acrisols
10. Suelos relativamente jóvenes o suelos con poco o ningún desarrollo de perfil	
Con suelo superficial oscuro ácido:	Umbrisols
Suelos arenosos:	Arenosols
Suelos moderadamente desarrollados:	Cambisols
Suelos sin desarrollo significativo de perfil:	Regosols

Fuente: FAO, 2007

En la Figura 11 se muestra el mapa edafológico del país, el cual fue elaborado por la Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO) con base en las cartas edafológicas de INEGI.



Fuente: CONABIO, 2008

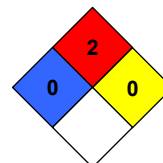
Figura 11.- Tipos de suelo en México

Anexo II. Hojas de seguridad



SUBDIRECCIÓN DE AUDITORÍA EN SEGURIDAD INDUSTRIAL Y PROTECCIÓN AMBIENTAL
GERENCIA DE SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SALUD OCUPACIONAL
HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DE SUSTANCIAS

SECCIÓN I. DATOS GENERALES

HDSS: PR-323
PEMEX-DIÉSEL UBA (1)
No. ONU ¹ : 1202
No. CAS ² : 68476-34-6
FECHA ELAB: 12/09/2008
REV : 1
FECHA REV: 12/09/2008

 VER DESCRIPCIÓN DE RIESGOS
 EN SECCIÓN XIII (PAGINA 7)

GRADO DE RIESGO NFPA ³

4	SEVERO
3	SERIO
2	MODERADO
1	LIGERO
0	MÍNIMO

**ANTES DE MANEJAR, TRANSPORTAR O ALMACENAR ESTE PRODUCTO, DEBE LEERSE Y COMPRENDERSE LO
 DISPUESTO EN EL PRESENTE DOCUMENTO.**

FABRICANTE

PEMEX REFINACIÓN.
 Subdirección de Producción.
 Av. Marina Nacional No. 329, Colonia Huasteca.
 Delegación Cuauhtémoc, México, D. F., C. P. 11311
 Teléfonos: (55) 19449365 y (55) 19448895 (horario de oficina)

ASISTENCIA TÉCNICA

Gerencia de Control de Producción.
 Teléfonos: (55) 19448628 (horario de oficina)

CONSULTA HOJAS DE DATOS DE SEGURIDAD

Gerencia de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional.
 Teléfonos: (55) 19448628 y (55) 19448041 (horario de oficina)

EN CASO DE EMERGENCIA LLAMAR A:

SETIQ: ⁽⁴⁾
 01800 – 0021400 sin costo (las 24 horas).
 (55) 55-59-15-88 (Cd. de México, las 24 horas).

CENACOM: ⁽⁵⁾
 01800 - 0041300 sin costo (las 24 horas).
 5128-0000 exts. 11470, 11471, 11472, 11473, 11474, 11475, 11476 y 11477
 (Cd. de México las 24 horas).

COATEA: ⁽⁶⁾
 01800 – 7104943 sin costo (las 24 horas).
 (55) 54-49-63-91 (Cd. de México, las 24 horas).

CCAE: ⁽¹⁹⁾
 Teléfono Nacional - 066
 (55) 19442500 extensión 49166 (Cd. de México).
 Correo – ccae@pemex.gob.mx

SECCIÓN II. DATOS GENERALES DEL PRODUCTO

Familia química:	ND	Estado físico:	Líquido
Nombre químico:	ND	Clase de riesgo de transporte SCT ⁷ :	Clase 3, "líquidos inflamables"
Nombre común:	Diésel ultra bajo azufre.	No. de Guía de Respuesta GRE ⁸	128
Sinónimos:	Diésel.		

Descripción general del producto:

Mezcla de hidrocarburos parafínicos, olefínicos y aromáticos, derivados del procesamiento del petróleo crudo. Este producto se emplea como combustible automotriz. Su contenido máximo de Azufre total, es de 15.0 mg/kg.

SECCIÓN III. IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES

COMPONENTE	%(Vol.)	NÚMERO ONU ¹	NÚMERO CAS ²	PPT ⁹ (ppm)	CT ¹⁰ (ppm)	IPVS ¹¹ (mg/m ³)	P ¹² (ppm)	GRADO DE RIESGO NFPA ³			
								S ¹³	I ¹⁴	R ¹⁵	E ¹⁶
Diésel.	100 % vol.	1202	68476-34-6	100	ND	ND	ND	0	2	0	ND
Aromáticos.	35.0 % vol. (máx).	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

SECCIÓN IV. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Peso Molecular:	ND	Viscosidad cinemática @ 40 °C mm ² /s	1.9 – 4.1 ^(B)
Temperatura de ebullición (°C):	275 (temp. 10% destilación) ^(B)	Color (ASTM D1500):	2.5 (máximo) ^(B)
Temperatura de fusión (°C)	ND	Olor:	Característico a hidrocarburo.
Temperatura de inflamación (°C):	45 (mínimo) ^(B)	Velocidad de evaporación:	ND
Temperatura de auto ignición (°C):	254 - 285 ^(A)	Solubilidad en agua (g/100ml@20°C)	Insoluble
Presión de vapor @ 21°C (kPa):	ND	% de volatilidad:	ND
Densidad:	< 1.0	Límites de explosividad inferior – superior:	0.6 – 6.5 ^(A)

SECCIÓN V. RIESGOS DE FUEGO Y EXPLOSIÓN

Medio de extinción:

- Fuegos pequeños: Utilizar agua en forma de rocío o niebla, polvo químico seco, Bióxido de Carbono o espuma química.
- Fuegos grandes: Utilizar agua en forma de rocío o niebla, no usar chorro de agua directa, usar espuma química.

Equipo de protección personal para el combate de incendios:

- El personal que combate incendios de esta sustancia en espacios confinados, debe emplear equipo de respiración autónomo y traje para bombero profesional completo; el uso de este último, proporciona solamente protección limitada.

Procedimiento y precauciones especiales durante el combate de incendios:

- Utilizar agua en forma de rocío para enfriar contenedores y estructuras expuestas, y para proteger al personal que intenta eliminar la fuga.
- Continuar el enfriamiento con agua de los contenedores, aún después de que el fuego haya sido extinguido.
- Eliminar la fuente de fuga si es posible hacerlo sin riesgo; de no ser posible, en función de las condiciones del incendio, permitir que el fuego arda de manera controlada o proceder a su extinción.
- Utilizar agua como lavado para retirar los derrames de las fuentes de ignición. Debe evitarse la introducción de este producto a vías pluviales, alcantarillas, sótanos o espacios confinados.
- En incendio masivo, utilice soportes fijos para mangueras o chiflones reguladores; si no es posible, retírese del área y deje que arda.
- Aislar el área de peligro, mantener alejadas a las personas innecesarias, evitar situarse en las zonas bajas.
- Tratar de cubrir el líquido derramado con espuma, evitando introducir agua directamente dentro del contenedor.
- Retírese de inmediato en caso de que aumente el sonido de los dispositivos de alivio de presión, o cuando el contenedor empiece a decolorarse.
- Manténgase siempre alejado de los extremos de los contenedores.

Condiciones que conducen a otros riesgos especiales:

- Sus vapores pueden formar mezclas explosivas con el aire. Pueden viajar a una fuente de ignición y regresar con flama.
- Esta sustancia puede almacenar cargas electrostáticas debidas al flujo o movimiento del líquido.
- Los recipientes que hayan almacenado este producto pueden contener residuos del mismo, por lo que no deben presurizarse, calentarse, cortarse, soldarse o exponerse a flamas u otras fuentes de ignición.

Productos de la combustión nocivos para la salud:

- La combustión de esta sustancia genera Monóxido de Carbono, Bióxido de Carbono y otros gases asfixiantes, irritantes y corrosivos.

SECCIÓN VI. RIESGOS DE REACTIVIDAD

Estabilidad.-

En condiciones normales esta sustancia es estable.

Incompatibilidad (sustancias a evitar).-

Evitar el contacto con fuentes de ignición y con oxidantes fuertes como: peróxidos, ácido nítrico y percloratos.

Descomposición en componentes o productos peligrosos:

Esta sustancia no se descompone a temperatura ambiente.

Polimerización espontánea / condiciones a evitar:

Esta sustancia no presenta polimerización.

^A Organización Internacional del Trabajo. International Chemical Safety and Health Information Centre. ICSC: 1561 (Diesel Fuel No. 2).

^B Hoja Técnica de Especificaciones. Subdirección de Producción, Especificación No. 323/2008.

SECCIÓN VII. RIESGOS A LA SALUD

EFFECTOS POR EXPOSICIÓN AGUDA:

Ingestión:

- Produce inflamación y ardor, irritación de la mucosa de la garganta, esófago y estómago.
- En caso de presentarse vómito severo puede haber aspiración hacia los bronquios y pulmones, lo que puede causar inflamación y riesgo de infección.

Inhalación:

- La exposición a concentraciones elevadas de vapores causan irritación a los ojos, nariz, garganta, bronquios y pulmones; puede causar dolor de cabeza y mareos; puede ser anestésico y puede causar otros efectos al sistema nervioso central.

Piel (contacto y absorción):

- El contacto frecuente puede causar ardor con enrojecimiento e inflamación.

Contacto con los ojos:

- El contacto de esta sustancia con los ojos causa irritación y/o quemadura de la córnea y/o conjuntiva, así como inflamación de los párpados.

EFFECTOS POR EXPOSICIÓN CRÓNICA:

- En la piel el contacto prolongado puede causar inflamación, resequedad, comezón, formación de grietas y riesgo de infección secundaria.

CONSIDERACIONES ESPECIALES:

Sustancia cancerígena:

NO

* Especifique:

Sustancia mutagénica:

ND

Sustancia teratogénica:

ND

Otras * :

ND

NOTAS:

- La **NOM-010-STPS-1999**, "Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral", no incluye al diésel.
- La American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) clasifica al diésel como una sustancia "cancerígena en animales" (clasificación A3), puntualizando que: "El agente es cancerígeno en animales de experimentación a dosis relativamente alta, por vías de administración en órganos, tejidos o por mecanismos que no son considerados relevantes para el trabajador expuesto. Los estudios epidemiológicos disponibles no confirman un aumento en el riesgo de cáncer en humanos expuestos. La evidencia sugiere que no es probable que el agente cause cáncer en humanos excepto bajo vías o niveles de exposición poco comunes e improbables. Para los A3 se debe controlar cuidadosamente la exposición de los trabajadores por todas las vías de ingreso para mantener esta exposición lo más abajo posible de dicho límite".

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA:

CL₅₀¹⁶ = ND

DL₅₀¹⁷ = ND

Otra información:

ND

PROCEDIMIENTO DE EMERGENCIA Y PRIMEROS AUXILIOS:

- El personal médico que atienda las emergencias debe tener en cuenta las características de las sustancias involucradas y tomar sus precauciones para protegerse a sí mismo.

Inhalación:

- En situaciones de emergencia, utilice equipo de protección respiratoria de aire autónomo de presión positiva para retirar inmediatamente a la víctima afectada por la exposición.
- Si la víctima respira con dificultad, administrar Oxígeno.
- Si la víctima no respira, aplicar respiración artificial.
- ¡CUIDADO! el método de respiración artificial de boca a boca puede ser peligroso para la persona que lo aplica, ya que ésta puede inhalar materiales tóxicos.
- Mantenga a la víctima abrigada y en reposo.
- Las personas expuestas a atmósferas con altas concentraciones de vapores o atomizaciones de diésel, deben trasladarse a una área libre de contaminantes donde respire aire fresco.
- Solicitar atención médica.

Ingestión:

- Mantener a la víctima abrigada y en reposo.
- Mantener a la víctima acostada de lado; de esta manera, disminuirá la posibilidad de aspiración de diésel a los bronquios y pulmones en caso de vómito.
- No provocar vómito por ser peligrosa la aspiración del líquido a los pulmones.
- Si espontáneamente se presenta el vómito, observar si existe dificultad para respirar.
- Solicitar atención médica inmediatamente.

Contacto con la piel:

- Retirar inmediatamente y confinar la ropa y calzado contaminados.
- Lavar la parte afectada con abundante agua, hasta que se eliminen los residuos del producto.
- Lavar ropa y calzado contaminados con diésel antes de utilizarlos nuevamente.
- Mantener a la víctima en reposo y abrigada para proporcionar una temperatura corporal normal.
- En caso de que la víctima presente algún síntoma anormal o si la irritación persiste después del lavado, obtener atención médica inmediatamente.
- Las quemaduras requieren atención médica especializada en forma inmediata.

Contacto con los ojos:

- En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con agua abundante por lo menos durante 15 minutos, o hasta que la irritación disminuya.
- Sostener los párpados de manera que se garantice una adecuada limpieza con agua abundante en el globo ocular.
- Si la irritación persiste obtenga atención médica inmediatamente.

OTROS RIESGOS O EFECTOS A LA SALUD:

- Las emanaciones de diésel son irritantes leves para los ojos, nariz y garganta.
- La exposición crónica puede resultar en dermatitis crónica.

DATOS PARA EL MÉDICO:

- El personal médico debe tener conocimiento de la identidad y características de esta sustancia.
- Si la cantidad de diésel ingerida es considerable, el Médico debe practicar un lavado del estómago.
- En tanto se aplica el lavado estomacal, debe colocarse a la víctima acostado de lado para que en caso de presentarse vómito, disminuya la posibilidad de aspiración de diésel hacia los bronquios y pulmones.
- Cuando la aspiración de vapores de diésel causa paro respiratorio, procédase de inmediato a proporcionar respiración artificial hasta que la respiración se restablezca.

ANTÍDOTO (DOSIS, EN CASO DE EXISTIR):

- No se tiene información.

SECCIÓN VIII. INDICACIONES EN CASO DE FUGA O DERRAME

Procedimiento, precauciones y métodos de mitigación en caso de fuga o derrame:

- **Llamar primeramente al número telefónico de respuesta en caso de emergencia.**
- Eliminar todo tipo de fuentes de ignición cercana a la emergencia.
- No tocar ni caminar sobre el producto derramado.
- Detener la salida de producto (fuga) en caso de poder hacerlo sin riesgo.
- De ser posible, los recipientes que lleguen a derramarse (fugar) deben ser trasladados a un área bien ventilada y alejada del resto de las instalaciones y de fuentes de ignición; el producto debe trasegarse a otros recipientes que se encuentren en buenas condiciones, observando los procedimientos establecidos para esta actividad.
- Mantener alejado al personal que no participa directamente en las acciones de control; aislar el área de riesgo y prohibir el acceso al área de la emergencia.
- Permanecer fuera de las zonas bajas donde pueda acumularse el producto y ubicarse en un sitio donde el viento sople a favor.
- Debe evitarse la introducción de este producto a vías pluviales, alcantarillas, sótanos o espacios confinados.
- En caso de fugas o derrames pequeños, cubrir con arena u otro material absorbente especializado.
- En caso de ocurrir una fuga o derrame, aislar inmediatamente un área de por lo menos 50 metros a la redonda.
- Cuando se trate de un derrame mayor, tratar de confinarlo, recoger el producto para su disposición posterior. En caso de emplear equipos de bombeo para recuperar el producto derramado, deben ser a prueba de explosión.
- Ventile los espacios cerrados antes de entrar.
- Todo el equipo que se use para el manejo del producto, debe estar conectado eléctricamente a tierra.
- Los materiales contaminados por fugas o derrames, se deben considerar como residuos peligrosos si por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas, representan un peligro para el equilibrio ecológico o al ambiente.

Recomendaciones para evacuación:

- Cuando se trate de un derrame grande, considere una evacuación inicial a favor del viento de por lo menos 300 metros.
- En caso de que un tanque, carro tanque o auto tanque esté involucrado en un incendio, considere un aislamiento y evacuación inicial de 800 metros a la redonda.

SECCIÓN IX. PROTECCIÓN ESPECIAL EN SITUACIONES DE EMERGENCIA

- La selección del equipo de protección personal a utilizar dependerá de las condiciones que presente la emergencia.
- Donde es probable el contacto en los ojos repetido o prolongado, utilice gafas de seguridad con protección lateral.
- Si es probable el contacto con brazos, antebrazos y manos, es necesario utilizar mangas largas y guantes resistentes a productos químicos.
- Donde la concentración en el aire puede exceder los Límites Máximos Permisibles indicados en la sección III, y donde la ingeniería, las prácticas de trabajo u otros medios para reducir la exposición no son adecuados, puede ser necesario el empleo de equipos de protección respiratoria de aire autónomo de presión positiva aprobados para prevenir la sobre exposición por inhalación.
- No utilizar lentes de contacto cuando se trabaje con esta sustancia.
- En las instalaciones donde se maneja esta sustancia, deben colocarse estaciones de regadera-lavajojos en sitios estratégicos, las cuales deben estar accesibles, operables en todo momento y bien identificadas.

Ventilación.-

- Debe trabajarse en áreas bien ventiladas.
- Debe proveerse ventilación mecánica a prueba de explosión cuando se trate de espacios confinados.

SECCIÓN X. INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTACIÓN

Número ONU :	1202	  
Clase de riesgo de transporte :	Clase 3 "Líquidos inflamables"	
Guía de Respuesta en caso de Emergencia:	Guía número 128	
Colocar el cartel que identifica el contenido y riesgo del producto transportado, cumpliendo con el color, dimensiones, colocación, etc., dispuestos en la NOM-004-SCT/2000 y empleando cualquiera de los dos modelos que se muestran en el recuadro de la derecha.		
1. Las unidades de arrastre de auto transporte y ferroviarias empleadas en el transporte de sustancias peligrosas, deben cumplir lo dispuesto en las Normas Oficiales Mexicanas aplicables, emitidas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. 2. Las unidades de auto transporte y ferroviarias empleadas en el transporte de sustancias peligrosas, deben usar carteles de identificación; y deben portar el número con el que las Naciones Unidas clasifica al producto que se transporta. Estas indicaciones deben apegarse a los modelos que se indican en la NOM-004-SCT-2000. 3. Antes de iniciar las operaciones de llenado, debe verificarse que el contenedor esté vacío, limpio, seco y en condiciones apropiadas para la recepción del producto. 4. Todos los envases y embalajes; así como las unidades destinadas al transporte terrestre de productos peligrosos, deben inspeccionarse periódicamente para garantizar sus condiciones óptimas. Para fines de esta inspección, deben emplearse como referencia las Normas Oficiales Mexicanas aplicables de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, entre las que se puede citar la NOM-006-SCT2-2000. 5. Esta Hoja de Datos de Seguridad de Sustancias, debe portarse siempre en la unidad de arrastre.		

SECCIÓN XI. INFORMACIÓN SOBRE ECOLOGÍA

- Cuando se trate de un derrame mayor, tratar de confinarlo, recoger el producto y colocarlo en tambores para su disposición posterior.
- El suelo contaminado por fugas o derrames debe ser caracterizado y restaurado de acuerdo a lo establecido en la norma de restauración de suelos NOM-138-SEMARNAT/SS-2003.
- Los materiales contaminados por los trabajos de limpieza, requerirán tratamiento y/o disposición de acuerdo a lo establecido en la "Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos".

SECCIÓN XII. INFORMACIÓN SOBRE MANEJO Y ALMACENAMIENTO

- El personal no debe ingerir alimentos, beber o fumar durante el manejo de esta sustancia.
- El personal que emplea lentes de contacto, debe utilizar gafas de seguridad con protección lateral cuando manipula este producto.
- Se deben evitar temperaturas extremas en su almacenamiento; almacenar en contenedores resistentes cerrados, fríos, secos, aislados, en áreas bien ventiladas y alejados del calor, fuentes de ignición y productos incompatibles como ácidos y materiales oxidantes.
- Se debe almacenar en contenedores con etiqueta; los recipientes que contengan esta sustancia, se deben almacenar separados de los vacíos y de los parcialmente vacíos.
- El almacenamiento de pequeñas cantidades de este producto, se debe realizar en contenedores resistentes y apropiados.
- La ropa y trapos contaminados, deben estar libres de este producto antes de almacenarlos o utilizarlos nuevamente.
- Los equipos empleados para el manejo de esta sustancia, deben estar debidamente aterrizados.
- No se debe emplear presión para vaciar los contenedores.
- Los recipientes que hayan almacenado esta sustancia, pueden contener residuos de él, por lo que no se debe presurizar, calentar cortar, soldar o exponerse a flamas u otras fuentes de ignición.

SECCIÓN XIII. INFORMACIÓN ADICIONAL

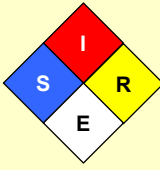
FUENTES DE INFORMACIÓN Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- NOM-010-STPS-1999, "Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral".
- NOM-018-STPS-2000 "Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo".
- "Reglamento de transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos".
- NOM-004-SCT-2000 "Sistema de identificación de unidades destinadas al transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos".
- NOM-006-SCT2-2000 "Aspectos básicos para la revisión ocular diaria de la unidad destinada al autotransporte de materiales y residuos peligrosos".
- Especificación No. 323/2008 "PEMEX-DIÉSEL UBA (1)", publicado por la Subdirección de Producción.
- NIOSH: "Pocket Guide to Chemical Hazards", "International Chemical Safety Cards".
- NFPA 325 "Guide to Fire Hazard Properties of Flammable Liquids, Gases, and Volatile Solids". 1994
- OSHA: "Permissible Exposure Limits", 1988.

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

- | | |
|--|--|
| ¹ ONU: Número asignado por la Organización de las Naciones Unidas. | ¹¹ IPVS: Inmediatamente Peligroso para la Vida y la Salud. (IDLH, siglas en ingles). |
| ² CAS: Número asignado por la Chemical Abstracts Service. | ¹² P: Límite Máximo Permissible de Exposición Pico. |
| ³ NFPA: National Fire Protection Association. | ¹³ S: Grado de riesgo a la Salud. |
| ⁴ SETIQ: Sistema de Emergencias en el Transporte para la Industria Química. | ¹⁴ I: Grado de riesgo de Inflamabilidad. |
| ⁵ CENACOM: Centro Nacional de Comunicación.(Protección Civil). | ¹⁵ R: Grado de riesgo de Reactividad. |
| ⁶ COATEA: Centro de Orientación para la Atención de Emergencias Ambientales. | ¹⁶ E: Grado de riesgo Especial. |
| ⁷ SCT: Secretaría de Comunicaciones y Transportes. | ¹⁷ CL₅₀: Concentración Letal Media. |
| ⁸ GRE: Guía de Respuesta a Emergencia. | ¹⁸ DL₅₀: Dosis Letal Media. |
| ⁹ LMPE-PPT: Límite Máximo Permissible de Exposición Promedio Ponderada en el Tiempo (TWA, siglas en ingles). | ¹⁹ CCAE: Centro de Coordinación y Apoyo a Emergencias. |
| ¹⁰ LMPE-CT: Límite Máximo Permissible de Exposición de Corto Tiempo (STEL, en ingles). | NA: No Aplica. |
| | ND: No Disponible. |

NIVEL DE RIESGO

	(S) RIESGO A LA SALUD		(I) RIESGO DE INFLAMABILIDAD		(R) RIESGO DE REACTIVIDAD		(E) RIESGO ESPECIAL	
	4	Fatal.	4	Extremadamente inflamable.	4	Puede detonar.	OXY	Oxidante.
	3	Extremadamente Riesgoso.	3	Inflamable.	3	Puede detonar pero requiere fuente de inicio.	ACID	Ácido.
	2	Ligeramente Riesgoso.	2	Combustible.	2	Cambio químico violento.	ALC	Alcalino.
	1	Riesgoso.	1	Combustible si se calienta.	1	Inestable si se calienta.	CORR	Corrosivo.
	0	Material Normal.	0	No se quema.	0	Estable.		No use agua.
								Material Radiactivo.

CONTROL DE REVISIONES

REVISIÓN	FECHA	MOTIVO
1	12/09/2008	Elaboración de revisión 1.

Declaración:

Es responsabilidad del comprador juzgar si la información aquí contenida es adecuada para sus propósitos. PEMEX Refinación no asume ninguna responsabilidad por cualquier daño resultante del uso incorrecto del producto o de cualquier peligro inherente a la naturaleza del mismo.



SUBDIRECCIÓN DE AUDITORÍA EN SEGURIDAD INDUSTRIAL Y PROTECCIÓN AMBIENTAL
GERENCIA DE SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SALUD OCUPACIONAL
HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DE SUSTANCIAS

SECCIÓN I. DATOS GENERALES

HDSS: PR-108

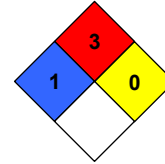
PEMEX MAGNA (1) ZMM

No. ONU ¹: 1203No. CAS ²: 8006-61-9

FECHA ELAB: 20/10/1998

REV: 4

FECHA REV: 25/08/08

VER DESCRIPCIÓN DE RIESGOS
EN SECCIÓN XIII (PÁGINA 7)GRADO DE RIESGO NFPA ³

4	SEVERO
3	SERIO
2	MODERADO
1	LIGERO
0	MÍNIMO

**ANTES DE MANEJAR, TRANSPORTAR O ALMACENAR ESTE PRODUCTO, DEBE LEERSE Y COMPRENDERSE LO
DISPUESTO EN EL PRESENTE DOCUMENTO.**

FABRICANTE

PEMEX REFINACIÓN.
 Subdirección de Producción.
 Av. Marina Nacional No. 329, Colonia Huasteca.
 Delegación Cuauhtémoc, México, D. F., C. P. 11311
 Teléfonos: (55) 19449365 y (55) 19448895 (horario de oficina)

ASISTENCIA TÉCNICA

Gerencia de Control de Producción.
 Teléfonos: (55) 19448628 (horario de oficina)

CONSULTA HOJAS DE DATOS DE SEGURIDAD

Gerencia de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional.
 Teléfonos: (55) 19448628 y (55) 19448041 (horario de oficina)

EN CASO DE EMERGENCIA LLAMAR A:

SETIQ: ⁽⁴⁾
 01800 – 0021400 sin costo (las 24 horas).
 (55) 55-59-15-88 (Cd. de México, las 24 horas).

CENACOM: ⁽⁵⁾
 01800 – 0041300 sin costo (las 24 horas).
 5128-0000 exts. 11470, 11471, 11472, 11473, 11474, 11475, 11476 y 11477
 (Cd. de México las 24 horas).

COATEA: ⁽⁶⁾
 01800 – 7104943 sin costo (las 24 horas).
 (55) 54-49-63-91 (Cd. de México, las 24 horas).

CCAE: ⁽¹⁹⁾
 Teléfono Nacional - 066
 (55) 19442500 extensión 49166 (Cd. de México).
 Correo – ccae@pemex.gob.mx

SECCIÓN II. DATOS GENERALES DEL PRODUCTO

Familia química:	ND	Estado físico:	Líquido
Nombre químico:	ND	Clase de riesgo de transporte SCT ⁷ :	Clase 3, "líquidos inflamables"
Nombre común:	Gasolina Pemex Magna.	No. de Guía de Respuesta GRE ⁸	128
Sinónimos:	Gasolina Pemex Magna, Pemex Magna Zona Metropolitana de Monterrey.		

Descripción general del producto: Mezcla de hidrocarburos parafinicos de cadena recta y ramificada, olefinas, cicloparafinas y aromáticos, que se obtienen del petróleo. Se utiliza como combustible en motores de combustión interna y es para obligatorio en la zona metropolitana de Monterrey. Índice de octano igual a 87 y 500 ppm de contenido máximo de azufre total.

SECCIÓN III. IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES

COMPONENTE	%(Vol.)	NÚMERO ONU ¹	NÚMERO CAS ²	PPT ⁹ (ppm)	CT ¹⁰ (ppm)	IPVS ¹¹ (mg/m ³)	P ¹² (ppm)	GRADO DE RIESGO NFPA ³			
								S ¹³	I ¹⁴	R ¹⁵	E ¹⁶
Gasolina.	100 % vol.	1203	8006-61-9	300	500	ND	ND	1	3	0	NA
Aromáticos.	35.0 % vol. máx.	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Olefinas.	12.5 % vol. máx.	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Benceno.	1.00% vol. máx.	1114	71.43.2	0.5	2.5	ND	ND	2	3	0	ND
Oxígeno.	1.0 – 2.7 % vol.	1072	7732-44-7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

SECCIÓN IV. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Peso Molecular:	ND	Densidad relativa de vapor (aire = 1):	3.0 – 4.0 ^(A)
Temperatura de ebullición (°C):	225 máx. (temp. final de ebullición) ^(B)	Color:	Rojo ^(B)
Temperatura de fusión (°C)	NA	Olor:	Característico a gasolina.
Temperatura de inflamación (°C):	ND	Velocidad de evaporación:	ND
Temperatura de auto ignición (°C):	Aproximadamente 250 ^(A)	Solubilidad en agua:	Insoluble
Presión de vapor @ 37.8°C (kPa):	62.0 – 79.0 (9.0 – 11.5 lb/pulg ²) ^(B)	% de volatilidad:	ND
Gravedad específica @ 20/4 °C:	ND	Límites de explosividad inferior – superior:	1.3 – 7.1 ^(B)

SECCIÓN V. RIESGOS DE FUEGO Y EXPLOSIÓN

Medio de extinción:

- Fuegos pequeños: Utilizar agua en forma de rocío o niebla, polvo químico seco, Bióxido de Carbono o espuma química.
- Fuegos grandes: Utilizar agua en forma de rocío o niebla, no usar chorro de agua directa, usar espuma química.

Equipo de protección personal para el combate de incendios:

- El personal que combate incendios de esta sustancia en espacios confinados, debe emplear equipo de respiración autónomo y traje para bombero profesional completo; el uso de este último, proporciona solamente protección limitada.

Procedimiento y precauciones especiales durante el combate de incendios:

- Utilizar agua en forma de rocío para enfriar contenedores y estructuras expuestas, y para proteger al personal que intenta eliminar la fuga.
- Continuar el enfriamiento con agua de los contenedores, aún después de que el fuego haya sido extinguido. Eliminar la fuente de fuga si es posible hacerlo sin riesgo. Si la fuga o derrame no se ha incendiado, utilice agua en forma de rocío para dispersar los vapores.
- Debe evitarse la introducción de este producto a vías pluviales, alcantarillas, sótanos o espacios confinados.
- En función de las condiciones del incendio, permitir que el fuego arda de manera controlada o proceder a su extinción con espuma o polvo.
- En incendio masivo, utilice soportes fijos para mangueras o chiflones reguladores; si no es posible, retírese del área y deje que arda.
- Aislar el área de peligro, mantener alejadas a las personas innecesarias, evitar situarse en las zonas bajas, mantenerse siempre alejado de los extremos de los contenedores. Retírese de inmediato en caso de que aumente el sonido de los dispositivos de alivio de presión, o cuando el contenedor empiece a decolorarse.
- Tratar de cubrir el líquido derramado con espuma, evitando introducir agua directamente dentro del contenedor.

Condiciones que conducen a otros riesgos especiales:

- La gasolina es un líquido extremadamente inflamable, puede incendiarse fácilmente a temperatura normal, sus vapores son mas pesados que el aire por lo que se dispersarán por el suelo y se concentrarán en las zonas bajas.
- Esta sustancia puede almacenar cargas electrostáticas debidas al flujo o movimiento del líquido. Los vapores de gasolina acumulados y no controlados que alcancen una fuente de ignición, pueden provocar una explosión.
- El trapo y materiales similares contaminados con gasolina y almacenados en espacios cerrados, pueden sufrir combustión espontánea.
- Los recipientes que hayan almacenado este producto pueden contener residuos del mismo, por lo que no deben presurizarse, calentarse, cortarse, soldarse o exponerse a flamas u otras fuentes de ignición.

Productos de la combustión nocivos para la salud:

- La combustión de esta sustancia genera Monóxido de Carbono, Bióxido de Carbono y otros gases asfixiantes, irritantes y corrosivos.

SECCIÓN VI. RIESGOS DE REACTIVIDAD

Estabilidad.-

En condiciones normales esta sustancia es estable.

Incompatibilidad (sustancias a evitar).-

Evitar el contacto con fuentes de ignición y con oxidantes fuertes como: peróxidos, ácido nítrico y percloratos.

Descomposición en componentes o productos peligrosos:

Esta sustancia no se descompone a temperatura ambiente.

Polimerización espontánea / condiciones a evitar:

Esta sustancia no presenta polimerización.

^A Ficha Internacional de Seguridad Química. Organización Internacional del Trabajo. ICSC: 1400 (Gasolina).

^B Hoja Técnica de Especificaciones. Subdirección de Producción, Especificación No. 108/2008

SECCIÓN VII. RIESGOS A LA SALUD

EFFECTOS POR EXPOSICIÓN AGUDA:

- La exposición extrema a esta sustancia deprime el sistema nervioso central; los efectos pueden incluir somnolencia, anestesia, coma, paro respiratorio y arritmia cardíaca.

Ingestión:

- Produce inflamación y ardor, irritación de la mucosa de la garganta, esófago y estómago.
- En caso de presentarse vómito severo puede haber aspiración hacia los bronquios y pulmones, lo que puede causar inflamación y riesgo de infección.

Inhalación:

- La exposición a concentraciones elevadas de vapores causan irritación a los ojos, nariz, garganta, bronquios y pulmones; puede causar dolor de cabeza y mareos; puede ser anestésico y puede causar otros efectos al sistema nervioso central.
- Causa sofocación (asfixiante) si se permite que se acumule a concentraciones que reduzcan la cantidad de Oxígeno por abajo de niveles de respiración seguros.
- En altas concentraciones, los componentes de la gasolina pueden causar desórdenes en el sistema nervioso central.
- Es asfixiante, la exposición a atmósferas con concentraciones excesivas de vapores de gasolina, puede causar un colapso repentino, coma y la muerte.

Piel (contacto y absorción):

- El contacto de gasolina en la piel causa irritación y resequead.

Contacto con los ojos:

- El contacto de esta sustancia con los ojos causa irritación y/o quemadura de la córnea y/o conjuntiva, así como inflamación de los párpados.
- La gasolina causa sensación de quemadura severa, con irritación temporal e hinchazón de los párpados.

EFFECTOS POR EXPOSICIÓN CRÓNICA:

- La exposición repetida a la gasolina puede causar efectos en el sistema nerviosos central, como: fatiga, trastornos de la memoria, dificultad de concentración y para conciliar el sueño, cefalea y vértigo, entre otros.
- En la piel el contacto prolongado puede causar inflamación, resequead, comezón, formación de grietas y riesgo de infección secundaria.

CONSIDERACIONES ESPECIALES:

Sustancia cancerígena: * Especifique:

Sustancia mutagénica:

Sustancia teratogénica:

Otras *:

NOTAS:

- La **NOM-010-STPS-1999**, "Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral", no incluye a la gasolina.
- La American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) clasifica a la gasolina como una sustancia "cancerígena en animales" (clasificación A3), puntualizando que: *"El agente es cancerígeno en animales de experimentación a dosis relativamente alta, por vías de administración en órganos, tejidos o por mecanismos que no son considerados relevantes para el trabajador expuesto. Los estudios epidemiológicos disponibles no confirman un aumento en el riesgo de cáncer en humanos expuestos. La evidencia sugiere que no es probable que el agente cause cáncer en humanos excepto bajo vías o niveles de exposición poco comunes e improbables. Para los A3 se debe controlar cuidadosamente la exposición de los trabajadores por todas las vías de ingreso para mantener esta exposición lo más abajo posible de dicho límite"*.

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA:

CL₅₀¹⁶ = ND DL₅₀¹⁷ = ND

Otra información:

ND

PROCEDIMIENTO DE EMERGENCIA Y PRIMEROS AUXILIOS:

- El personal médico que atienda las emergencias debe tener en cuenta las características de las sustancias involucradas y tomar sus precauciones para protegerse a sí mismo.

Inhalación:

- En situaciones de emergencia, utilice equipo de protección respiratoria de aire autónomo de presión positiva para retirar inmediatamente a la víctima afectada por la exposición.
- Si la víctima respira con dificultad, administrar Oxígeno.
- Si la víctima no respira, aplicar respiración artificial.
- ¡CUIDADO! el método de respiración artificial de boca a boca puede ser peligroso para la persona que lo aplica, ya que ésta puede inhalar materiales tóxicos.
- Mantenga a la víctima abrigada y en reposo.
- Las personas expuestas a atmósferas con altas concentraciones de vapores o atomizaciones de gasolina, deben trasladarse a una área libre de contaminantes donde respire aire fresco.
- Solicitar atención médica.

Ingestión:

- Mantener a la víctima abrigada y en reposo.
- Mantener a la víctima acostada de lado; de esta manera, disminuirá la posibilidad de aspiración de gasolina a los bronquios y pulmones en caso de vómito.
- No provocar vómito por ser peligrosa la aspiración del líquido a los pulmones.
- Si espontáneamente se presenta el vómito, observar si existe dificultad para respirar.
- Solicitar atención médica inmediatamente.

Contacto con la piel:

- Retirar inmediatamente y confinar la ropa y calzado contaminados.
- Lavar la parte afectada con abundante agua durante 20 minutos por lo menos.
- Lavar ropa y calzado contaminados con gasolina antes de utilizarlos nuevamente.
- Mantener a la víctima en reposo y abrigada para proporcionar una temperatura corporal normal.
- En caso de que la víctima presente algún síntoma anormal o si la irritación persiste después del lavado, obtener atención médica inmediatamente.

Contacto con los ojos:

- En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con agua abundante por lo menos durante 15 minutos, o hasta que la irritación disminuya.
- Sostener los párpados de manera que se garantice una adecuada limpieza con agua abundante en el globo ocular.
- Si la irritación persiste obtenga atención médica inmediatamente.
- Si se producen quemaduras en conjuntiva y córnea, se requerirá atención médica especializada en forma inmediata.

OTROS RIESGOS O EFECTOS A LA SALUD:

- La exposición prolongada a vapores de gasolina, puede producir signos y síntomas de intoxicación, como depresión del sistema nervioso central; sin embargo, estos síntomas pueden variar dependiendo del tiempo de exposición y de la concentración de vapores de gasolina.

DATOS PARA EL MÉDICO:

- El personal médico debe tener conocimiento de la identidad y características de esta sustancia.
- Si la cantidad de gasolina ingerida es considerable, el Médico debe practicar un lavado del estómago.
- En tanto se aplica el lavado estomacal, debe colocarse a la víctima acostado de lado para que en caso de presentarse vómito, disminuya la posibilidad de aspiración de gasolina hacia los bronquios y pulmones.
- Cuando la aspiración de vapores de gasolina causa paro respiratorio, procédase de inmediato a proporcionar respiración artificial hasta que la respiración se restablezca.

ANTÍDOTO (DOSIS, EN CASO DE EXISTIR):

- No se tiene información.

SECCIÓN VIII. INDICACIONES EN CASO DE FUGA O DERRAME

Procedimiento, precauciones y métodos de mitigación en caso de fuga o derrame:

- **Llamar primeramente al número telefónico de respuesta en caso de emergencia.**
- Eliminar todo tipo de fuentes de ignición cercana a la emergencia.
- No tocar ni caminar sobre el producto derramado.
- Detener la salida de producto (fuga) en caso de poder hacerlo sin riesgo.
- De ser posible, los recipientes que lleguen a derramarse (fugar) deben ser trasladados a un área bien ventilada y alejada del resto de las instalaciones y de fuentes de ignición; el producto debe trasegarse a otros recipientes que se encuentren en buenas condiciones, observando los procedimientos establecidos para esta actividad.
- Mantener alejado al personal que no participa directamente en las acciones de control; aislar el área de riesgo y prohibir el acceso al área de la emergencia.
- Permanecer fuera de las zonas bajas donde pueda acumularse el producto y ubicarse en un sitio donde el viento sople a favor.
- Debe evitarse la introducción de este producto a vías pluviales, alcantarillas, sótanos o espacios confinados, ya que por su volatilidad desprende vapores que forman mezclas explosivas o inflamables, capaces de recorrer grandes distancias hasta encontrar una fuente de ignición.
- En caso de fugas o derrames pequeños, cubrir con arena u otro material absorbente especializado.
- En caso de ocurrir una fuga o derrame, aislar inmediatamente un área de por lo menos 50 metros a la redonda.
- Cuando se trate de un derrame mayor, tratar de confinarlo, recoger el producto para su disposición posterior. En caso de emplear equipos de bombeo para recuperar el producto derramado, deben ser a prueba de explosión.
- Ventile los espacios cerrados antes de entrar.
- El agua en forma de rocío puede reducir los vapores, pero no puede prevenir su ignición en espacios cerrados.
- Utilizar cortina de agua para reducir los vapores o desviar la nube de vapor.
- Todo el equipo que se use para el manejo del producto, debe estar conectado eléctricamente a tierra.

Recomendaciones para evacuación:

- Cuando se trate de un derrame grande, considere una evacuación inicial a favor del viento de por lo menos 300 metros.
- En caso de que un tanque, carro tanque o auto tanque esté involucrado en un incendio, considere un aislamiento y evacuación inicial de 800 metros a la redonda.

SECCIÓN IX. PROTECCIÓN ESPECIAL EN SITUACIONES DE EMERGENCIA

- La selección del equipo de protección personal a utilizar dependerá de las condiciones que presente la emergencia.
- Donde es probable el contacto en los ojos repetido o prolongado, utilice gafas de seguridad con protección lateral.
- Si es probable el contacto con brazos, antebrazos y manos, es necesario utilizar guantes de mangas largas resistentes a productos químicos.
- Donde la concentración en el aire puede exceder los Límites Máximos Permisibles indicados en la sección III, y donde la ingeniería, las prácticas de trabajo u otros medios para reducir la exposición no son adecuados, puede ser necesario el empleo de equipos de protección respiratoria de aire autónomo de presión positiva aprobados para prevenir la sobre exposición por inhalación.
- No utilizar lentes de contacto cuando se trabaje con esta sustancia.
- En las instalaciones donde se maneja esta sustancia, deben colocarse estaciones de regadera-lavaojos en sitios estratégicos, las cuales deben estar accesibles, operables en todo momento y bien identificadas.

Ventilación.-

- Debe trabajarse en áreas bien ventiladas.
- Debe proveerse ventilación mecánica a prueba de explosión cuando se trate de espacios confinados.
- Las muestras de laboratorio deben manejarse en una campana de extracción.

SECCIÓN X. INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTACIÓN

Número ONU : 1203

Clase de riesgo de transporte : Clase 3 "Líquidos inflamables"

Guía de Respuesta en caso de Emergencia: Guía número 128

Colocar el cartel que identifica el contenido y riesgo del producto transportado, cumpliendo con el color, dimensiones, colocación, etc., dispuestos en la NOM-004-SCT/2000 y empleando cualquiera de los dos modelos que se muestran en el recuadro de la derecha.



1203

1. Las unidades de arrastre de auto transporte y ferroviarias empleadas en el transporte de sustancias peligrosas, deben cumplir lo dispuesto en las Normas Oficiales Mexicanas aplicables, emitidas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
2. Las unidades de auto transporte y ferroviarias empleadas en el transporte de sustancias peligrosas, deben usar carteles de identificación; y deben portar el número con el que las Naciones Unidas clasifica al producto que se transporta. Estas indicaciones deben apegarse a los modelos que se indican en la NOM-004-SCT-2000.
3. Antes de iniciar las operaciones de llenado, debe verificarse que el contenedor esté vacío, limpio, seco y en condiciones apropiadas para la recepción del producto.
4. Todos los envases y embalajes; así como las unidades destinadas al transporte terrestre de productos peligrosos, deben inspeccionarse periódicamente para garantizar sus condiciones óptimas. Para fines de esta inspección, deben emplearse como referencia las Normas Oficiales Mexicanas aplicables de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, entre las que se puede citar la NOM-006-SCT2-2000.
5. Esta Hoja de Datos de Seguridad de Sustancias, debe portarse siempre en la unidad de arrastre.

SECCIÓN XI. INFORMACIÓN SOBRE ECOLOGÍA

- Cuando se trate de un derrame mayor, tratar de confinarlo, recoger el producto y colocarlo en tambores para su disposición posterior.
- El suelo contaminado por fugas o derrames debe ser caracterizado y restaurado de acuerdo a lo establecido en la norma de restauración de suelos NOM-138-SEMARNAT/SS-2003.
- Los materiales contaminados por los trabajos de limpieza, requerirán tratamiento y/o disposición de acuerdo a lo establecido en la "Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos".

SECCIÓN XII. INFORMACIÓN SOBRE MANEJO Y ALMACENAMIENTO

- El personal expuesto a vapores de gasolina debe emplear equipo de aire autónomo.
- El personal que emplea lentes de contacto cuando manipula gasolina, debe utilizar gafas de seguridad con protección lateral.
- Las gasolinas son líquidos inflamables, por lo que existe el riesgo de incendio donde se almacenan, manejan o emplean. Deben tomarse precauciones para evitar que sus vapores formen mezclas explosivas.
- Deben evitarse temperaturas extremas en su almacenamiento; almacenar en contenedores resistentes cerrados, fríos, secos, aislados, en áreas bien ventiladas y alejados del calor, fuentes de ignición y productos incompatibles como ácidos y materiales oxidantes.
- Almacenar en contenedores con etiquetas; los recipientes que contengan gasolina, deben almacenarse separados de los vacíos y de los parcialmente vacíos.
- No debe emplearse gasolina para limpiar equipos, ropa o la piel.
- La ropa y trapos contaminados con gasolina deben estar libres de este producto antes de utilizarlos nuevamente.

SECCIÓN XIII. INFORMACIÓN ADICIONAL

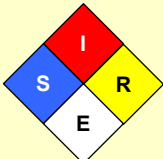
FUENTES DE INFORMACIÓN Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- NOM-018-STPS-2000 "Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo".
- NOM-010-STPS-1999, "Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral".
- NOM-004-SCT-2000 "Sistema de identificación de unidades destinadas al transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos".
- "Reglamento de transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos".
- NOM-006-SCT2-2000 "Aspectos básicos para la revisión ocular diaria de la unidad destinada al autotransporte de materiales y residuos peligrosos".
- Especificación No. 108/2008 "PEMEX MAGNA (1) ZONA METROPOLITANA DE MONTERREY", publicado por la Subdirección de Producción de PEMEX Refinación.
- ACGIH: "Threshold Limit Values for Chemical Substance and Physical Agents & Biological Exposure Indices", 2002.
- NIOSH: "Pocket Guide to Chemical Hazards", "International Chemical Safety Cards".
- NFPA 325 "Guide to Fire Hazard Properties of Flammable Liquids, Gases, and Volatile Solids". 1994
- OSHA: "Permissible Exposure Limits", 1988.

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

- | | |
|--|--|
| ¹ ONU: Número asignado por la Organización de las Naciones Unidas. | ¹¹ IPVS: Inmediatamente Peligroso para la Vida y la Salud. (IDLH, siglas en ingles). |
| ² CAS: Número asignado por la Chemical Abstracts Service. | ¹² P: Límite Máximo Permissible de Exposición Pico. |
| ³ NFPA: National Fire Protection Association. | ¹³ S: Grado de riesgo a la Salud. |
| ⁴ SETIQ: Sistema de Emergencias en el Transporte para la Industria Química. | ¹⁴ I: Grado de riesgo de Inflamabilidad. |
| ⁵ CENACOM: Centro Nacional de Comunicación.(Protección Civil). | ¹⁵ R: Grado de riesgo de Reactividad. |
| ⁶ COATEA: Centro de Orientación para la Atención de Emergencias Ambientales. | ¹⁶ E: Grado de riesgo Especial. |
| ⁷ SCT: Secretaría de Comunicaciones y Transportes. | ¹⁷ CL₅₀: Concentración Letal Media. |
| ⁸ GRE: Guía de Respuesta a Emergencia. | ¹⁸ DL₅₀: Dosis Letal Media. |
| ⁹ LMPE-PPT: Límite Máximo Permissible de Exposición Promedio Ponderada en el Tiempo (TWA, siglas en ingles). | ¹⁹ CAAE: Centro de Coordinación y Apoyo a Emergencias. |
| ¹⁰ LMPE-CT: Límite Máximo Permissible de Exposición de Corto Tiempo (STEL, en ingles). | NA: No Aplica. |
| | ND: No Disponible. |

NIVEL DE RIESGO

	(S) RIESGO A LA SALUD		(I) RIESGO DE INFLAMABILIDAD		(R) RIESGO DE REACTIVIDAD		(E) RIESGO ESPECIAL	
	4	Fatal.	4	Extremadamente inflamable.	4	Puede detonar.	OXY	Oxidante.
	3	Extremadamente Riesgoso.	3	Inflamable.	3	Puede detonar pero requiere fuente de inicio.	ACID	Ácido.
	2	Ligeramente Riesgoso.	2	Combustible.	2	Cambio químico violento.	ALC	Alcalino.
	1	Riesgoso.	1	Combustible si se calienta.	1	Inestable si se calienta.	CORR	Corrosivo.
	0	Material Normal.	0	No se quema.	0	Estable.	 W	No use agua. Material Radiactivo.

CONTROL DE REVISIONES

REVISIÓN	FECHA	MOTIVO
2	20/10/1998	Actualización de la Hoja Técnica de Especificaciones No. 108/1998.
3	01/04/2004	Actualización de la Hoja Técnica de Especificaciones No. 108/2004.
4	25/08/2008	Actualización de la Hoja Técnica de Especificaciones No. 108/2008.

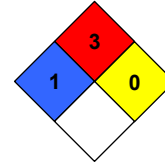
Declaración:

Es responsabilidad del comprador juzgar si la información aquí contenida es adecuada para sus propósitos. PEMEX Refinación no asume ninguna responsabilidad por cualquier daño resultante del uso incorrecto del producto o de cualquier peligro inherente a la naturaleza del mismo.



SUBDIRECCIÓN DE AUDITORÍA EN SEGURIDAD INDUSTRIAL Y PROTECCIÓN AMBIENTAL
GERENCIA DE SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SALUD OCUPACIONAL
HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DE SUSTANCIAS

SECCIÓN I. DATOS GENERALES

HDSS: PR-104**PEMEX PREMIUM (1) ZMVM****No. ONU ¹ : 1203****No. CAS ² : 8006-61-9****FECHA ELAB: 26/09/04****REV : 3****FECHA REV: 25/08/08**VER DESCRIPCIÓN DE RIESGOS
EN SECCIÓN XIII (PAGINA 7)GRADO DE RIESGO NFPA ³

4 SEVERO

3 SERIO

2 MODERADO

1 LIGERO

0 MÍNIMO

**ANTES DE MANEJAR, TRANSPORTAR O ALMACENAR ESTE PRODUCTO, DEBE LEERSE Y COMPRENDERSE LO
DISPUESTO EN EL PRESENTE DOCUMENTO.**

FABRICANTE

PEMEX REFINACIÓN.
 Subdirección de Producción.
 Av. Marina Nacional No. 329, Colonia Huasteca.
 Delegación Cuauhtémoc, México, D. F., C. P. 11311
 Teléfonos: (55) 19449365 y (55) 19448895 (horario de oficina)

ASISTENCIA TÉCNICA

Gerencia de Control de Producción.
 Teléfonos: (55) 19448628 (horario de oficina)

CONSULTA HOJAS DE DATOS DE SEGURIDAD

Gerencia de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional.
 Teléfonos: (55) 19448628 y (55) 19448041 (horario de oficina)

EN CASO DE EMERGENCIA LLAMAR A:

SETIQ: ⁽⁴⁾
 01800 – 0021400 sin costo (las 24 horas).
 (55) 55-59-15-88 (Cd. de México, las 24 horas).

CENACOM: ⁽⁵⁾
 01800 – 0041300 sin costo (las 24 horas).
 5128-0000 exts. 11470, 11471, 11472, 11473, 11474, 11475, 11476 y 11477
 (Cd. de México las 24 horas).

COATEA: ⁽⁶⁾
 01800 – 7104943 sin costo (las 24 horas).
 (55) 54-49-63-91 (Cd. de México, las 24 horas).

CCAE: ⁽¹⁹⁾
 Teléfono Nacional - 066
 (55) 19442500 extensión 49166 (Cd. de México).
 Correo – ccae@pemex.gob.mx

SECCIÓN II. DATOS GENERALES DEL PRODUCTO

Familia química:	ND	Estado físico:	Líquido
Nombre químico:	ND	Clase de riesgo de transporte SCT ⁷ :	Clase 3, "líquidos inflamables"
Nombre común:	Gasolina Pemex Premium.	No. de Guía de Respuesta GRE ⁸	128
Sinónimos:	Gasolina Pemex Premium, Pemex Premium Zona Metropolitana del Valle de México.		

Descripción general del producto:

Mezcla de hidrocarburos paraafínicos de cadena recta y ramificada, olefinas, cicloparafinas y aromáticos, que se obtienen del petróleo. Se utiliza como combustible en motores de combustión interna y es para uso obligatorio en la zona metropolitana del valle de México.

SECCIÓN III. IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES

COMPONENTE	%(Vol.)	NÚMERO ONU ¹	NÚMERO CAS ²	PPT ⁹ (ppm)	CT ¹⁰ (ppm)	IPVS ¹¹ (mg/m ³)	P ¹² (ppm)	GRADO DE RIESGO NFPA ³			
								S ¹³	I ¹⁴	R ¹⁵	E ¹⁶
Gasolina.	100 % vol.	1203	8006-61-9	300	500	ND	ND	1	3	0	NA
Aromáticos.	25.0 % vol. máx.	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Olefinas.	10.0 % vol. máx.	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Benceno.	1.00 % vol. máx.	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Oxígeno.	1.0 – 2.7 % vol. máx.	1072	7732-44-7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

SECCIÓN IV. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Peso Molecular:	ND	Densidad relativa de vapor (aire = 1):	3.0 – 4.0 ^(A)
Temperatura de ebullición (°C):	70 máx. (temp. 10% de destilación) ^(B)	Color:	Sin anilina ^(B)
Temperatura de fusión (°C)	ND	Olor:	Característico a gasolina.
Temperatura de inflamación (°C):	ND	Velocidad de evaporación:	ND
Temperatura de auto ignición (°C):	Aproximadamente 250 ^(A)	Solubilidad en agua:	Insoluble
Presión de vapor @ 37.8 °C (kPa):	45.0 – 54.0 (6.5 – 7.8 lb/pulg ²) ^(B)	% de volatilidad:	ND
Gravedad específica @ 20/4 °C:	0.70 – 0.80 ^(A)	Límites de explosividad inferior – superior:	1.3 – 7.1 ^(A)

SECCIÓN V. RIESGOS DE FUEGO Y EXPLOSIÓN

Medio de extinción:

- Fuegos pequeños: Utilizar agua en forma de rocío o niebla, polvo químico seco, Bióxido de Carbono o espuma química.
- Fuegos grandes: Utilizar agua en forma de rocío o niebla, no usar chorro de agua directa, usar espuma química.

Equipo de protección personal para el combate de incendios:

- El personal que combate incendios de esta sustancia en espacios confinados, debe emplear equipo de respiración autónomo y traje para bombero profesional completo; el uso de este último, proporciona solamente protección limitada.

Procedimiento y precauciones especiales durante el combate de incendios:

- Utilizar agua en forma de rocío para enfriar contenedores y estructuras expuestas, y para proteger al personal que intenta eliminar la fuga.
- Continuar el enfriamiento con agua de los contenedores, aún después de que el fuego haya sido extinguido. Eliminar la fuente de fuga si es posible hacerlo sin riesgo. Si la fuga o derrame no se ha incendiado, utilice agua en forma de rocío para dispersar los vapores.
- Debe evitarse la introducción de este producto a vías pluviales, alcantarillas, sótanos o espacios confinados.
- En función de las condiciones del incendio, permitir que el fuego arda de manera controlada o proceder a su extinción con espuma o polvo.
- En incendio masivo, utilice soportes fijos para mangueras o chiflones reguladores; si no es posible, retírese del área y deje que arda.
- Aislar el área de peligro, mantener alejadas a las personas innecesarias, evitar situarse en las zonas bajas, mantenerse siempre alejado de los extremos de los contenedores. Retírese de inmediato en caso de que aumente el sonido de los dispositivos de alivio de presión, o cuando el contenedor empiece a decolorarse.
- Tratar de cubrir el líquido derramado con espuma, evitando introducir agua directamente dentro del contenedor.

Condiciones que conducen a otros riesgos especiales:

- La gasolina es un líquido extremadamente inflamable, puede incendiarse fácilmente a temperatura normal, sus vapores son mas pesados que el aire por lo que se dispersarán por el suelo y se concentrarán en las zonas bajas.
- Esta sustancia puede almacenar cargas electrostáticas debidas al flujo o movimiento del líquido. Los vapores de gasolina acumulados y no controlados que alcancen una fuente de ignición, pueden provocar una explosión.
- El trapo y materiales similares contaminados con gasolina y almacenados en espacios cerrados, pueden sufrir combustión espontánea.
- Los recipientes que hayan almacenado este producto pueden contener residuos del mismo, por lo que no deben presurizarse, calentarse, cortarse, soldarse o exponerse a flamas u otras fuentes de ignición.

Productos de la combustión nocivos para la salud:

- La combustión de esta sustancia genera Monóxido de Carbono, Bióxido de Carbono y otros gases asfixiantes, irritantes y corrosivos.

SECCIÓN VI. RIESGOS DE REACTIVIDAD

Estabilidad.-

En condiciones normales esta sustancia es estable.

Incompatibilidad (sustancias a evitar).-

Evitar el contacto con fuentes de ignición y con oxidantes fuertes como: peróxidos, ácido nítrico y percloratos.

Descomposición en componentes o productos peligrosos:

Esta sustancia no se descompone a temperatura ambiente.

Polimerización espontánea / condiciones a evitar:

Esta sustancia no presenta polimerización.

^A Ficha Internacional de Seguridad Química. Organización Internacional del Trabajo. ICSC: 1400 (Gasolina).

^B Hoja Técnica de Especificaciones. Subdirección de Producción, Especificación No. 104/2008

SECCIÓN VII. RIESGOS A LA SALUD

EFFECTOS POR EXPOSICIÓN AGUDA:

- La exposición extrema a esta sustancia deprime el sistema nervioso central; los efectos pueden incluir somnolencia, anestesia, coma, paro respiratorio y arritmia cardíaca.

Ingestión:

- Produce inflamación y ardor, irritación de la mucosa de la garganta, esófago y estómago.
- En caso de presentarse vómito severo puede haber aspiración hacia los bronquios y pulmones, lo que puede causar inflamación y riesgo de infección.

Inhalación:

- La exposición a concentraciones elevadas de vapores causan irritación a los ojos, nariz, garganta, bronquios y pulmones; puede causar dolor de cabeza y mareos; puede ser anestésico y puede causar otros efectos al sistema nervioso central.
- Causa sofocación (asfixiante) si se permite que se acumule a concentraciones que reduzcan la cantidad de Oxígeno por abajo de niveles de respiración seguros.
- En altas concentraciones, los componentes de la gasolina pueden causar desórdenes en el sistema nervioso central.
- Es asfixiante, la exposición a atmósferas con concentraciones excesivas de vapores de gasolina, puede causar un colapso repentino, coma y la muerte.

Piel (contacto y absorción):

- El contacto de gasolina en la piel causa irritación y resequedad.

Contacto con los ojos:

- El contacto de esta sustancia con los ojos causa irritación y/o quemadura de la córnea y/o conjuntiva, así como inflamación de los párpados.
- La gasolina causa sensación de quemadura severa, con irritación temporal e hinchazón de los párpados.

EFFECTOS POR EXPOSICIÓN CRÓNICA:

- La exposición repetida a la gasolina puede causar efectos en el sistema nervioso central, como: fatiga, trastornos de la memoria, dificultad de concentración y para conciliar el sueño, cefalea y vértigo, entre otros.
- En la piel el contacto prolongado puede causar inflamación, resequedad, comezón, formación de grietas y riesgo de infección secundaria.

CONSIDERACIONES ESPECIALES:

Sustancia cancerígena: * Especifique:

Sustancia mutagénica:

Sustancia teratogénica:

Otras *:

NOTAS:

- La **NOM-010-STPS-1999**, "Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral", no incluye a la gasolina.
- La American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) clasifica a la gasolina como una sustancia "cancerígena en animales" (clasificación A3), puntualizando que: *"El agente es cancerígeno en animales de experimentación a dosis relativamente alta, por vías de administración en órganos, tejidos o por mecanismos que no son considerados relevantes para el trabajador expuesto. Los estudios epidemiológicos disponibles no confirman un aumento en el riesgo de cáncer en humanos expuestos. La evidencia sugiere que no es probable que el agente cause cáncer en humanos excepto bajo vías o niveles de exposición poco comunes e improbables. Para los A3 se debe controlar cuidadosamente la exposición de los trabajadores por todas las vías de ingreso para mantener esta exposición lo más abajo posible de dicho límite".*

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA:

CL₅₀¹⁶ = ND DL₅₀¹⁷ = ND

Otra información:

ND

PROCEDIMIENTO DE EMERGENCIA Y PRIMEROS AUXILIOS:

- El personal médico que atienda las emergencias debe tener en cuenta las características de las sustancias involucradas y tomar sus precauciones para protegerse a sí mismo.

Inhalación:

- En situaciones de emergencia, utilice equipo de protección respiratoria de aire autónomo de presión positiva para retirar inmediatamente a la víctima afectada por la exposición.
- Si la víctima respira con dificultad, administrar Oxígeno.
- Si la víctima no respira, aplicar respiración artificial.
- ¡CUIDADO! el método de respiración artificial de boca a boca puede ser peligroso para la persona que lo aplica, ya que ésta puede inhalar materiales tóxicos.
- Mantenga a la víctima abrigada y en reposo.
- Las personas expuestas a atmósferas con altas concentraciones de vapores o atomizaciones de gasolina, deben trasladarse a una área libre de contaminantes donde respire aire fresco.
- Solicitar atención médica.

Ingestión:

- Mantener a la víctima abrigada y en reposo.
- Mantener a la víctima acostada de lado; de esta manera, disminuirá la posibilidad de aspiración de gasolina a los bronquios y pulmones en caso de vómito.
- No provocar vómito por ser peligrosa la aspiración del líquido a los pulmones.
- Si espontáneamente se presenta el vómito, observar si existe dificultad para respirar.
- Solicitar atención médica inmediatamente.

Contacto con la piel:

- Retirar inmediatamente y confinar la ropa y calzado contaminados.
- Lavar la parte afectada con abundante agua durante 20 minutos por lo menos.
- Lavar ropa y calzado contaminados con gasolina antes de utilizarlos nuevamente.
- Mantener a la víctima en reposo y abrigada para proporcionar una temperatura corporal normal.
- En caso de que la víctima presente algún síntoma anormal o si la irritación persiste después del lavado, obtener atención médica inmediatamente.

Contacto con los ojos:

- En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con agua abundante por lo menos durante 15 minutos, o hasta que la irritación disminuya.
- Sostener los párpados de manera que se garantice una adecuada limpieza con agua abundante en el globo ocular.
- Si la irritación persiste obtenga atención médica inmediatamente.
- Si se producen quemaduras en conjuntiva y córnea, se requerirá atención médica especializada en forma inmediata.

OTROS RIESGOS O EFECTOS A LA SALUD:

- La exposición prolongada a vapores de gasolina, puede producir signos y síntomas de intoxicación, como depresión del sistema nervioso central; sin embargo, estos síntomas pueden variar dependiendo del tiempo de exposición y de la concentración de vapores de gasolina.

DATOS PARA EL MÉDICO:

- El personal médico debe tener conocimiento de la identidad y características de esta sustancia.
- Si la cantidad de gasolina ingerida es considerable, el Médico debe practicar un lavado del estómago.
- En tanto se aplica el lavado estomacal, debe colocarse a la víctima acostado de lado para que en caso de presentarse vómito, disminuya la posibilidad de aspiración de gasolina hacia los bronquios y pulmones.
- Cuando la aspiración de vapores de gasolina causa paro respiratorio, procédase de inmediato a proporcionar respiración artificial hasta que la respiración se restablezca.

ANTÍDOTO (DOSIS, EN CASO DE EXISTIR):

- No se tiene información.

SECCIÓN VIII. INDICACIONES EN CASO DE FUGA O DERRAME

Procedimiento, precauciones y métodos de mitigación en caso de fuga o derrame:

- **Llamar primeramente al número telefónico de respuesta en caso de emergencia.**
- Eliminar todo tipo de fuentes de ignición cercana a la emergencia.
- No tocar ni caminar sobre el producto derramado.
- Detener la salida de producto (fuga) en caso de poder hacerlo sin riesgo.
- De ser posible, los recipientes que lleguen a derramarse (fugar) deben ser trasladados a un área bien ventilada y alejada del resto de las instalaciones y de fuentes de ignición; el producto debe trasegarse a otros recipientes que se encuentren en buenas condiciones, observando los procedimientos establecidos para esta actividad.
- Mantener alejado al personal que no participa directamente en las acciones de control; aislar el área de riesgo y prohibir el acceso al área de la emergencia.
- Permanecer fuera de las zonas bajas donde pueda acumularse el producto y ubicarse en un sitio donde el viento sople a favor.
- Debe evitarse la introducción de este producto a vías pluviales, alcantarillas, sótanos o espacios confinados, ya que por su volatilidad desprende vapores que forman mezclas explosivas o inflamables, capaces de recorrer grandes distancias hasta encontrar una fuente de ignición.
- En caso de fugas o derrames pequeños, cubrir con arena u otro material absorbente especializado.
- En caso de ocurrir una fuga o derrame, aislar inmediatamente un área de por lo menos 50 metros a la redonda.
- Cuando se trate de un derrame mayor, tratar de confinarlo, recoger el producto para su disposición posterior. En caso de emplear equipos de bombeo para recuperar el producto derramado, deben ser a prueba de explosión.
- Ventile los espacios cerrados antes de entrar.
- El agua en forma de rocío puede reducir los vapores, pero no puede prevenir su ignición en espacios cerrados.
- Utilizar cortina de agua para reducir los vapores o desviar la nube de vapor.
- Todo el equipo que se use para el manejo del producto, debe estar conectado eléctricamente a tierra.

Recomendaciones para evacuación:

- Cuando se trate de un derrame grande, considere una evacuación inicial a favor del viento de por lo menos 300 metros.
- En caso de que un tanque, carro tanque o auto tanque esté involucrado en un incendio, considere un aislamiento y evacuación inicial de 800 metros a la redonda.

SECCIÓN IX. PROTECCIÓN ESPECIAL EN SITUACIONES DE EMERGENCIA

- La selección del equipo de protección personal a utilizar dependerá de las condiciones que presente la emergencia.
- Donde es probable el contacto en los ojos repetido o prolongado, utilice gafas de seguridad con protección lateral.
- Si es probable el contacto con brazos, antebrazos y manos, es necesario utilizar guantes de mangas largas resistentes a productos químicos.
- Donde la concentración en el aire puede exceder los Límites Máximos Permisibles indicados en la sección III, y donde la ingeniería, las prácticas de trabajo u otros medios para reducir la exposición no son adecuados, puede ser necesario el empleo de equipos de protección respiratoria de aire autónomo de presión positiva aprobados para prevenir la sobre exposición por inhalación.
- No utilizar lentes de contacto cuando se trabaje con esta sustancia.
- En las instalaciones donde se maneja esta sustancia, deben colocarse estaciones de regadera-lavajojos en sitios estratégicos, las cuales deben estar accesibles, operables en todo momento y bien identificadas.

Ventilación.-

- Debe trabajarse en áreas bien ventiladas.
- Debe proveerse ventilación mecánica a prueba de explosión cuando se trate de espacios confinados.
- Las muestras de laboratorio deben manejarse en una campana de extracción.

SECCIÓN X. INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTACIÓN

Número ONU :	1203	  
Clase de riesgo de transporte :	Clase 3 "Líquidos inflamables"	
Guía de Respuesta en caso de Emergencia:	Guía número 128	
Colocar el cartel que identifica el contenido y riesgo del producto transportado, cumpliendo con el color, dimensiones, colocación, etc., dispuestos en la NOM-004-SCT/2000 y empleando cualquiera de los dos modelos que se muestran en el recuadro de la derecha.		
1. Las unidades de arrastre de auto transporte y ferroviarias empleadas en el transporte de sustancias peligrosas, deben cumplir lo dispuesto en las Normas Oficiales Mexicanas aplicables, emitidas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. 2. Las unidades de auto transporte y ferroviarias empleadas en el transporte de sustancias peligrosas, deben usar carteles de identificación; y deben portar el número con el que las Naciones Unidas clasifica al producto que se transporta. Estas indicaciones deben apegarse a los modelos que se indican en la NOM-004-SCT-2000. 3. Antes de iniciar las operaciones de llenado, debe verificarse que el contenedor esté vacío, limpio, seco y en condiciones apropiadas para la recepción del producto. 4. Todos los envases y embalajes; así como las unidades destinadas al transporte terrestre de productos peligrosos, deben inspeccionarse periódicamente para garantizar sus condiciones óptimas. Para fines de esta inspección, deben emplearse como referencia las Normas Oficiales Mexicanas aplicables de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, entre las que se puede citar la NOM-006-SCT2-2000. 5. Esta Hoja de Datos de Seguridad de Sustancias, debe portarse siempre en la unidad de arrastre.		

SECCIÓN XI. INFORMACIÓN SOBRE ECOLOGÍA

- Cuando se trate de un derrame mayor, tratar de confinarlo, recoger el producto y colocarlo en tambores para su disposición posterior.
- El suelo contaminado por fugas o derrames debe ser caracterizado y restaurado de acuerdo a lo establecido en la norma de restauración de suelos NOM-138-SEMARNAT/SS-2003.
- Los materiales contaminados por los trabajos de limpieza, requerirán tratamiento y/o disposición de acuerdo a lo establecido en la "Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos".

SECCIÓN XII. INFORMACIÓN SOBRE MANEJO Y ALMACENAMIENTO

- El personal expuesto a vapores de gasolina debe emplear equipo de aire autónomo.
- El personal que emplea lentes de contacto cuando manipula gasolina, debe utilizar gafas de seguridad con protección lateral.
- Las gasolinas son líquidos inflamables, por lo que existe el riesgo de incendio donde se almacenan, manejan o emplean. Deben tomarse precauciones para evitar que sus vapores formen mezclas explosivas.
- Deben evitarse temperaturas extremas en su almacenamiento; almacenar en contenedores resistentes cerrados, fríos, secos, aislados, en áreas bien ventiladas y alejados del calor, fuentes de ignición y productos incompatibles como ácidos y materiales oxidantes.
- Almacenar en contenedores con etiquetas; los recipientes que contengan gasolina, deben almacenarse separados de los vacíos y de los parcialmente vacíos.
- No debe emplearse gasolina para limpiar equipos, ropa o la piel.
- La ropa y trapos contaminados con gasolina deben estar libres de este producto antes de utilizarlos nuevamente.

SECCIÓN XIII. INFORMACIÓN ADICIONAL

FUENTES DE INFORMACIÓN Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- NOM-018-STPS-2000 "Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo".
- NOM-010-STPS-1999, "Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral".
- NOM-004-SCT-2000 "Sistema de identificación de unidades destinadas al transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos".
- "Reglamento de transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos".
- NOM-006-SCT2-2000 "Aspectos básicos para la revisión ocular diaria de la unidad destinada al autotransporte de materiales y residuos peligrosos".
- Especificación No. 104/2008 "PEMEX PREMIUM (1) ZONA MEOPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO", publicado por la Subdirección de Producción de PEMEX Refinación.
- ACGIH: "Threshold Limit Values for Chemical Substance and Physical Agents & Biological Exposure Indices", 2002.
- NIOSH: "Pocket Guide to Chemical Hazards", "International Chemical Safety Cards".
- NFPA 325 "Guide to Fire Hazard Properties of Flammable Liquids, Gases, and Volatile Solids". 1994
- OSHA: "Permissible Exposure Limits", 1988.

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

- | | |
|---|---|
| ¹ ONU: Número asignado por la Organización de las Naciones Unidas.
² CAS: Número asignado por la Chemical Abstracts Service.
³ NFPA: National Fire Protection Association.
⁴ SETIQ: Sistema de Emergencias en el Transporte para la Industria Química.
⁵ CENACOM: Centro Nacional de Comunicación.(Protección Civil).
⁶ COATEA: Centro de Orientación para la Atención de Emergencias Ambientales.
⁷ SCT: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
⁸ GRE: Guía de Respuesta a Emergencia.
⁹ LMPE-PPT: Límite Máximo Permisible de Exposición Promedio Ponderada en el Tiempo (TWA, siglas en ingles).
¹⁰ LMPE-CT: Límite Máximo Permisible de Exposición de Corto Tiempo (STEL, en ingles). | ¹¹ IPVS: Inmediatamente Peligroso para la Vida y la Salud. (IDLH, siglas en ingles).
¹² P: Límite Máximo Permisible de Exposición Pico.
¹³ S: Grado de riesgo a la Salud.
¹⁴ I: Grado de riesgo de Inflamabilidad.
¹⁵ R: Grado de riesgo de Reactividad.
¹⁶ E: Grado de riesgo Especial.
¹⁷ CL₅₀: Concentración Letal Media.
¹⁸ DL₅₀: Dosis Letal Media.
¹⁹ CAAE: Centro de Coordinación y Apoyo a Emergencias.
NA: No Aplica.
ND: No Disponible. |
|---|---|

NIVEL DE RIESGO

	(S) RIESGO A LA SALUD		(I) RIESGO DE INFLAMABILIDAD		(R) RIESGO DE REACTIVIDAD		(E) RIESGO ESPECIAL	
	4	Fatal.	4	Extremadamente inflamable.	4	Puede detonar.	OXY	Oxidante.
	3	Extremadamente Riesgoso.	3	Inflamable.	3	Puede detonar pero requiere fuente de inicio.	ACID	Ácido.
	2	Ligeramente Riesgoso.	2	Combustible.	2	Cambio químico violento.	ALC	Alcalino.
	1	Riesgoso.	1	Combustible si se calienta.	1	Inestable si se calienta.	CORR	Corrosivo.
	0	Material Normal.	0	No se quema.	0	Estable.	-W-	No use agua. Material Radiactivo.

CONTROL DE REVISIONES

REVISIÓN	FECHA	MOTIVO
1	20/10/1998	Elaboración de la revisión 1.
2	01/04/2004	Actualización de la Hoja Técnica de Especificaciones No. 104/2004.
3	25/08/2008	Actualización de la Hoja Técnica de Especificaciones No. 104/2008.

Declaración:

Es responsabilidad del comprador juzgar si la información aquí contenida es adecuada para sus propósitos. PEMEX Refinación no asume ninguna responsabilidad por cualquier daño resultante del uso incorrecto del producto o de cualquier peligro inherente a la naturaleza del mismo.

Anexo III. Entrevistas a expertos en remediación de suelos

I.Q. Fernando Gómez Martínez¹

1. En el país, ¿cómo considera que se realiza el proceso de remediación de suelos?

No está sistematizado, muchas empresas improvisadas; las que lo hacen bien son costosas.

2. ¿Cuáles son los factores decisivos para elegir la tecnología de remediación?

Tipo de suelo, tipo de contaminante, presencia de metales. Factores de componentes agrícolas, se requiere una matriz que relacione todos los factores y reportes estandarizados.

3. En su experiencia, ¿cómo considera el proceso de selección de la tecnología para remediar el suelo?

Se basa en el costo y no siempre aplica para lo que se está tratando. Falta mucha información para los tipos de suelo, relación de contaminante y tipo de suelo. Por otra parte, el monitoreo es escaso.

4. En su experiencia, ¿cuál es su opinión sobre las tecnologías de biorremediación?

Se desconocen los mecanismos específicos de degradación y está relacionado con la matriz anterior. En el país se ha realizado empíricamente o mezclando tecnología que no aplica en el caso.

5. Considera que la metodología propuesta es una herramienta adecuada para apoyar el proceso de selección de la tecnología para remediar el suelo.

Sí, debido a que no existe algún instrumento similar.

¹ Ingeniero Químico por la UNAM, realizó durante 10 años remediación de suelos en la empresa COMINSA.

Entrevistas

M.en I. Alma Luz Cortés Licona²

1. En el país, ¿cómo considera que se realiza el proceso de remediación de suelos?

No es un proceso estandarizado y, tampoco, necesariamente se realiza con base en la mejor tecnología o la más adecuada al sitio, sino que se hace con base en el costo, por lo que es poco objetivo.

2. ¿Cuáles son los factores decisivos para elegir la tecnología de remediación?

En primera instancia, se tiene en cuenta el costo, luego el tiempo y el espacio.

3. En su experiencia, ¿cómo considera el proceso de selección de la tecnología para remediar el suelo?

Es un proceso determinante por el tipo de suelo, contaminante, y las condiciones del sitio. Se realiza con base en el costo, dentro del sitio por las ventajas económicas. Además se tienen que tomar criterios de la EPA que en la normatividad de México no se tienen en cuenta.

4. En su experiencia, ¿cuál es su opinión sobre las tecnologías de biorremediación?

No se seleccionan ni aplican de la manera más adecuada. La SEMARNAT limita a los procesos autorizados y no considera la combinación de tratamiento, aún cuando combinarlos sería lo más adecuado para lograr la remediación y no liberar otros contaminantes para realizar un tratamiento eficaz.

5. Considera que la metodología propuesta es una herramienta adecuada para apoyar el proceso de selección de la tecnología para remediar el suelo.

Sí, aunque el proceso administrativo no está estandarizado para seleccionar una tecnología en particular.

² Maestra e Ingeniería Ambiental por la UNAM. Ha trabajado durante cuatro años en el campo de la remediación de suelos en diferentes empresas.

Entrevistas

M. en I. Holdayara Emilia Hernández Reyes³

1. En el país, ¿cómo considera que se realiza el proceso de remediación de suelos?

De acuerdo con la normatividad y no va más allá, no se precisa llegar al estado base. Los factores determinantes son el tiempo y el costo, llegar al estado base es difícil y poco factible. La normatividad es pobre y muy mala.

2. ¿Cuáles son los factores decisivos para elegir la tecnología de remediación?

Se realiza con base en la experiencia del especialista.

3. En su experiencia, ¿cómo considera el proceso de selección de la tecnología para remediar el suelo?

Acotada por el costo y el tiempo.

4. En su experiencia, ¿cuál es su opinión sobre las tecnologías de biorremediación?

Son tecnologías de pulimento. No son adecuadas para ser utilizadas después de un derrame, incluso en pasivos ambientales la concentración de hidrocarburos para determinar si es factible. En general es más barata, hay ocasiones que se toma a la ligera y el especialista debe que tener mucha experiencia para evitar un desbalance ecológico.

5. Considera que la metodología propuesta es una herramienta adecuada para apoyar el proceso de selección de la tecnología para remediar el suelo.

No, porque la selección se basa en la experiencia del experto. Pero puede ser una herramienta útil para una persona en campo.

³ Maestra en Ingeniería Ambiental por la UNAM. Cuenta con diez años de experiencia en remediación de suelos, investigación y atención a pasivos ambientales.